

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

AMON MICAEL FERNANDES FLORES

ANÁLISE E ESTIMATIVA DO TRANSPORTE
DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO
DURANTE EVENTOS CHUVOSOS

CAMPO GRANDE
2007

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

AMON MICAEL FERNANDES FLORES

**ANÁLISE E ESTIMATIVA DO TRANSPORTE
DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO
DURANTE EVENTOS CHUVOSOS**

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, na área de concentração em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Carlos Nobuyoshi Ide

Aprovada em:

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Carlos Nobuyoshi Ide
Orientador - UFMS

Prof. Dr. Luiz Fernando de Abreu Cybis
UFRGS

Prof. Dr. Teodorico Alves Sobrinho
UFMS

Campo Grande, MS
2007

DEDICATÓRIA

*À minha esposa Josiane
e ao meu filho Arthur.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e pelo amor que recebi.

Ao Professor Doutor Carlos Nobuyoshi Ide, por todos os ensinamentos que me proporcionou e a confiança, em mim, sempre depositada.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, pela ajuda despendida ao longo do curso e da elaboração deste trabalho.

Aos técnicos laboratoristas, em especial ao José Gonçalves, Marcelo Campos e Agrimal Araujo, pela presteza no trato das amostras analisadas.

À Família Martos, em especial aos Srs. “Zé Espanhol”, Netinho e Márcio, por permitirem a utilização de sua propriedade, como posto de observação e coletas de campo.

Aos amigos, Armando Barbedo, Claudia Onishi, Enio Shinma, Fábio Veríssimo e Herlon Oliveira, Joaquim Costa e Luis Antonio, por compartilharmos momentos inesquecíveis no desenvolvimento dos estudos e construirmos uma amizade verdadeira.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela bolsa de estudo concedida, e ao CNPq, por viabilizar o aporte financeiro da pesquisa.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	ii
AGRADECIMENTOS	iii
SUMÁRIO.....	iv
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	ix
LISTA DE SÍMBOLOS	x
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Gerais	3
2.2 Específicos	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Estudos na Bacia do Alto Paraguai	4
3.2 Estudos na Bacia do Alto Taquari.....	8
3.3 Estudos na Bacia do Rio Taquarizinho	12
3.4 Monitoramento de bacias	21
3.5 Definições.....	23
3.5.1 Ciclo hidrossedimentológico	23
3.5.2 Sedimento	23
3.5.3 Turbidez.....	33
3.5.4 Polutograma e suas características.....	36
3.5.5 Concentração média do evento	37
3.5.6 Efeito de primeira lavagem (<i>first flush</i>).....	38
3.5.7 Deflúvio sólido médio	39
3.5.8 Produção específica de sedimentos.....	40
4. MATERIAIS E MÉTODOS	42
4.1 Região de estudo	42
4.2 Acompanhamento da cota linimétrica.....	42
4.3 Determinação da descarga líquida.....	44

4.4	Curva-chave da seção de estudo.....	45
4.5	Previsão das precipitações.....	45
4.6	Coleta de amostras de sedimento	46
4.6.1	Amostragem de sedimentos em suspensão.....	46
4.6.2	Amostragem de material do leito.....	49
4.7	Análises de laboratório.....	50
4.8	Determinação da descarga sólida.....	51
4.9	Estimativa do coeficiente de Manning.....	56
4.10	Concentração média do evento e curva acumulada adimensional.....	57
4.11	Varição do perfil transversal	59
4.12	Curvas de permanência	59
4.13	Curva-chave de sedimentos.....	60
4.14	Deflúvio sólido médio anual e produção específica.....	61
4.15	Relação com o parâmetro turbidez.....	61
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	63
5.1	Avaliação da bacia monitorada	63
5.2	Análise dos dados das cotas linimétricas	66
5.3	Análise das relações de descargas líquidas	68
5.4	Análise dos eventos monitorados.....	73
5.5	Cálculo da descarga sólida e análises.....	80
5.6	Análise da CME e curvas acumuladas adimensionais	82
5.7	Análise do deflúvio sólido médio e produção específica.....	88
5.8	Análise da turbidez e da concentração de sedimentos em suspensão	92
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	98
6.1	Conclusões	98
6.2	Recomendações.....	100
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103
8.	ANEXOS	109

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 – Área ocupada por soja e bovinos em hectares (ha) na BAP.....	7
FIGURA 3.2 – Vazões em Coxim no Rio Taquari entre 1969 e 1984.....	7
FIGURA 3.3 – Zonas de erosão e depósito de sedimentos na Bacia do Alto Paraguai.	8
FIGURA 3.4 – Localização da Bacia do Rio Taquarizinho e o limite da Bacia do Alto Paraguai.....	13
FIGURA 3.5 – Distribuição da erosividade anual das chuvas na Bacia do Alto Taquari.....	15
FIGURA 3.6 – Carta do uso do solo de 1966, 1985 e 1996, para a Bacia do Rio Taquarizinho.	16
FIGURA 3.7 – Valores de perda por erosão laminar para a Bacia do Rio Taquarizinho em 1966, 1985 e 1996.	17
FIGURA 3.8 – (a) <i>Layers</i> das áreas referentes às curvas de nível; (b) <i>Layers</i> referentes aos tipos de solos, hidrografia e limites de sub-bacias.	19
FIGURA 3.9 – Variação da velocidade média e tamanho das partículas e suas relações com os processos fluviais.....	26
FIGURA 3.10 – Sistema fluvial idealizado.....	32
FIGURA 3.11 – Relação entre concentração de sedimentos em suspensão e turbidez.....	34
FIGURA 3.12 – Relação entre a área de drenagem e a produção específica de sedimentos, para algumas bacias e sub-bacias.	40
FIGURA 3.13 – Zoneamento hidrossedimentológico do Brasil.	41
FIGURA 4.1 – Bacia do Taquari e localização da Bacia do Taquarizinho.....	43
FIGURA 4.2 – Exemplo de um meteograma.	46
FIGURA 4.3 – Linigrama e pontos de amostragem.....	48
FIGURA 5.1 – Região alagadiça onde se encontra a nascente do Rio Taquarizinho.	63
FIGURA 5.2 – Queda d'água encontrada na região alta da bacia, com aproximadamente 60 metros de altura.	64
FIGURA 5.3 – Trecho do rio com calha principal reduzida e presença de material arenoso.	64
FIGURA 5.4 – (a) Rebanho bovino junto à margem para dessedentação. (b) Margem totalmente desprotegida, expondo diretamente os solos à erosão.....	65
FIGURA 5.5 – Amostras de águas coletadas em março/2004, desde a nascente (1) até a montante da foz no Rio Coxim (3).....	65
FIGURA 5.6 – Dispersão dos dados de cotas observadas e as registradas no linígrafo.	67
FIGURA 5.7 – Distribuição de frequência dos desvios de observação das cotas.....	67
FIGURA 5.8 – Curva de permanência de cotas para os períodos de 1984 a 2006.....	68

FIGURA 5.9 – Comparação das curvas-chave dos dados históricos e medidos.....	70
FIGURA 5.10 – Curva-chave composta dos dados históricos e medidos na seção.	70
FIGURA 5.11 – Relação entre área molhada e cota da seção.	71
FIGURA 5.12 – Variações no perfil transversal de 1995 a 2006.	72
FIGURA 5.13 – Curvas de permanência de vazões, de 1984 a 2006.	72
FIGURA 5.14 – Distribuição granulométrica por faixas, amostrador tipo copo.	75
FIGURA 5.15 – Distribuição granulométrica por faixas, amostrador tipo BLM-84.	75
FIGURA 5.16 – Distribuição granulométrica por verticais, amostrador tipo copo.	76
FIGURA 5.17 – Distribuição granulométrica por verticais, amostrador tipo BLM-84.	77
FIGURA 5.18 – Perfil longitudinal do rio desde a nascente até a seção de estudo.	79
FIGURA 5.19 – Curva-chave de sedimentos em suspensão: (a) com vazão em função da descarga sólida e (b) com a descarga sólida em função da vazão.....	81
FIGURA 5.20 – Curva-chave de sedimentos em suspensão: (a) com vazão em função da concentração de sólidos em suspensão (CSS) e (b) com a CSS em função da vazão.....	81
FIGURA 5.21 – Hidrograma, pontos de amostragem e valor da CME no evento 01.....	83
FIGURA 5.22 – Hidrograma, pontos de amostragem e valor da CME no evento 02.....	83
FIGURA 5.23 – Hidrograma, pontos de amostragem e valor da CME no evento 03.....	84
FIGURA 5.24 – Hidrograma, pontos de amostragem e valor da CME no evento 04.....	84
FIGURA 5.25 – Hidrograma, pontos de amostragem e valor da CME no evento 05.....	85
FIGURA 5.26 – Hidrograma, pontos de amostragem e valor da CME no evento 06.....	85
FIGURA 5.27 – Relação entre CPE e CME dos eventos.....	86
FIGURA 5.28 – Relação entre CPE e QssME dos eventos.....	87
FIGURA 5.29 – Relação entre QME e QssME dos eventos.	87
FIGURA 5.30 – Curvas acumulativas adimensionais de massa e volume dos eventos.....	89
FIGURA 5.31 – Curvas de permanência de descarga sólida em suspensão utilizada no cálculo do deflúvio sólido.	90
FIGURA 5.32 – Relação entre CSS medido e CSS calculado pelos modelos 1 a 4.	94
FIGURA 5.33 – Relação entre CSS medido e CSS calculado pelos modelos 5 a 7.	95
FIGURA 5.34 – Relação entre turbidez e CSS das amostras.	96
FIGURA 5.35 – Relação entre CSS medido e CSS calculado pela reta de ajuste e a distribuição de frequência de erros relativos.....	96

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 – Aporte de sedimentos no Rio Taquari, do planalto para o Pantanal.....	10
TABELA 3.2 – Percentuais dos tipos de uso dos solos nos diferentes períodos analisados, para a Folha Coxim.	11
TABELA 3.3 – Valores referenciais de produção de sedimentos.	18
TABELA 3.4 – Classificação e composição mineralógica dos sedimentos.....	25
TABELA 3.5 – Dados necessários da bacia para a modelagem do canal.	28
TABELA 3.6 – Valores referenciais de produção de sedimentos.	32
TABELA 3.7 – Modelos de previsão da CSS por faixa de concentração e de turbidez.	35
TABELA 4.1 – Volume de amostra em relação à concentração de sedimento em suspensão.	47
TABELA 4.2 – Lista de parâmetros físicos.	50
TABELA 4.3 – Ensaio de peneiramento – peneiras utilizadas e suas aberturas.	51
TABELA 4.4 – Classificação granulométrica da <i>American Geophysical Union</i>	52
TABELA 4.5 – Estimativa da porcentagem de material do leito em relação à carga em suspensão, por meio de parâmetros sedimentométricos.	54
TABELA 4.6 – Valores do coeficiente de rugosidade de Manning (n).	57
TABELA 5.1 – Datas e horas das coletas das amostras.....	73
TABELA 5.2 – Diâmetros e coeficientes característicos para material de fundo.....	74
TABELA 5.3 – Diâmetros e coeficientes característicos médios das amostras de fundo.....	78
TABELA 5.4 – Cálculo do d_{90} médio para obtenção do valor do coeficiente de Manning.	79
TABELA 5.5 – Dados de vazão e sólidos totais para cada amostra dos eventos.....	80
TABELA 5.6 – Resultados da descarga sólida de arraste (Q_{sa}) e descarga de sedimentos em suspensão (Q_{ss}).	82
TABELA 5.7 – Valores de concentração média, concentração de pico, vazão média e descarga sólida em suspensão média dos eventos.	82
TABELA 5.8 – Resultados de descarga sólida média diária, anual e a produção específica para os anos de 1984 a 2006.	91
TABELA 5.9 – Cálculo da Q_{sa}/Q_{ss} ponderada pela permanência da vazão líquida.....	91
TABELA 5.10 – Cálculo da produção específica total (suspensão e arraste) estimada.....	91
TABELA 5.11 – Cálculo das equações de CSS e os respectivos erros relativos.....	93
TABELA 5.12 - Resultados da equação da reta de ajuste de CSS em função da turbidez.	97

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGU	<i>American Geophysical Union</i>
ANA	Agência Nacional de Águas
BAP	Bacia do Alto Paraguai
BAT	Bacia do Alto Taquari
CPAP	Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
DNOS	Departamento Nacional de Obras de Saneamento
EUA	Estados Unidos da América
H	Hidroweb (dados históricos)
MS	Mato Grosso do Sul
SIG	Sistema de Informações Geográficas
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
USLE	<i>Universal Soil Loss Equation</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Perda média anual de solo por erosão laminar por área
a	Parâmetro de ajuste para a curva cota-vazão de um determinado local; Valor adimensional de ajuste dos dados da curva-chave de sedimentos
b	Valor adimensional de ajuste dos dados da curva-chave de sedimentos
C	Fator uso e manejo do solo
C(t)	Concentração do constituinte variável no tempo
C _b	Cota de base
C _i	Coleta de número i; Concentração discreta a cada tempo i
C _p	Cota de pico
C _s	Concentração em suspensão da amostragem pontual, em mg/L
CCS _s	Curva-chave de sedimentos em suspensão
CME	Concentração média do evento
CPE	Concentração de pico do evento
CSS	Concentração de Sólidos Suspensos
d _g	Diâmetro médio geométrico
d _i	Diâmetro do sedimento para o qual a i porcentagem da mistura é mais fina
d _m	Diâmetro médio
d _{med}	Diâmetro mediano
dt	Instante de tempo infinitesimal
eb	Escoamento de base
ec	Evento chuvoso
E _r	Eficiência de amostragem do equipamento
ER	Erro relativo

F	Volume acumulado adimensional escoado
Gr	Coeficiente de graduação
H _H	Cota disponível na Hidroweb no campo <i>Cotas</i>
H _{HRD}	Cota disponível na Hidroweb no campo <i>Resumo de Descarga</i>
H _{OB}	Cota observada em campo
h	Nível do curso d'água
h ₀	Nível para o qual a vazão é nula
l	Distância entre os pontos medidos, em metros
K	Fator de erodibilidade do solo
L	Massa acumulada adimensional de constituintes Fator comprimento da vertente
m	Ordem de cada valor
m(t)	Massa transportada em função do tempo
M _T	Massa total do constituinte ou poluente no evento
n	Parâmetro de ajuste para a curva cota-vazão de um determinado local; Número de coletas; Coeficiente de Manning; Número de amostras; Tamanho da amostra
NTU	<i>Nephelometric Turbidity Unit</i>
P	Fator práticas conservacionistas
ppm	partes por milhão
Q	Descarga líquida, em m ³ /s
Q(t)	Descarga líquida variável no tempo
Q _b	Descarga sólida do leito na seção transversal, em t/dia
q _b	Descarga sólida do leito parcial, obtida do peso seco dividido pelo tempo de amostragem e pela largura do bocal do amostrador, em kg/(s.m)
Q _H	Vazão disponível na Hidroweb no campo <i>Vazões</i>
Q _{HRD}	Vazão disponível na Hidroweb no campo <i>Resumo de Descarga</i>

Q_i	Deflúvio discreto a cada tempo i
Q_{ME}	Vazão média do evento
Q_{OB}	Vazão observada em campo
Q_s	Descarga sólida, em t/dia
Q_{sa}	Descarga sólida de arraste, em t/dia
Q_{ss}	Descarga sólida em suspensão, em t/dia
Q_{ssME}	Descarga sólida em suspensão média do evento
R	Fator de erosividade da chuva
R^2	Coefficiente de correlação de ajuste
S	Fator declividade da vertente
ST	Sólidos totais
T	Turbidez
t_r	Tempo de duração do evento
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez
V	Vertical de amostragem
$v(t)$	Volume transportado em função do tempo
V_T	Volume total do escoamento no evento
ΔC	Diferença de cotas
σ_g	Desvio padrão geométrico

RESUMO

FLORES, A. M. F. (2007). *Análise e estimativa do transporte de sedimentos em suspensão durante eventos chuvosos*. Campo Grande, 2007. 129p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

Este trabalho tem por objetivo monitorar o transporte de sedimentos suspensos provenientes da bacia hidrográfica do Rio Taquarizinho, durante os eventos chuvosos ocorridos no período compreendido entre 2005 e 2007. Por meio de levantamento de dados históricos, foi avaliado a evolução das cotas linimétricas, vazões e perfis transversais ao longo das últimas décadas. Foi determinada a curva-chave de descarga de sedimentos em suspensão, sendo possível estimar a produção anual de sedimentos. Analisou-se as concentrações médias dos eventos, as quais se mostraram uma alternativa técnica aproximada de obtenção do aporte de sedimento. O estudo da granulometria dos materiais do leito do rio revela a presença predominante de areias médias e grossas. A determinação do coeficiente de Manning, através de um diâmetro característico do leito arenoso resultou em média igual a 0,025, compatível com os valores encontrados em literatura científica. Verificou-se que a maior parte dos sedimentos transportados ocorreram em aproximadamente 25% do tempo anual, concomitantemente ao período de chuvas. A análise das curvas acumulativas adimensionais de massa e volumes transportados em ondas de cheias não evidenciaram a ocorrência do fenômeno de primeira lavagem para os sedimentos em suspensão. As taxas de contribuição sólida encontradas variaram de 10 a 60t.km⁻².ano⁻¹, mostrando-se abaixo dos valores médios de pesquisas anteriores para a região em estudo.

Palavras-chave: *hidrossedimentologia, transporte de sedimentos, deflúvio sólido.*

ABSTRACT

FLORES, A. M. F. (2007). *Analysis and estimation of suspended sediment transport throughout rainy events. Campo Grande, 2007. 129p. Master Dissertation – Federal University of Mato Grosso do Sul, Brazil (in Portuguese).*

This work aims to monitor the transport of suspended sediments from the Taquarizinho River basin, throughout rainy events that occurred between 2005 and 2007. Using historic data, the evolution of water levels, flows and cross profiles during the last decades was evaluated. The settling rate curve for suspended sediments was determined, with which it was possible to estimate the annual sediment yield. The average sediment concentrations during events were analyzed. The results were shown to provide a useful alternative to estimate the sediment load. With regard to suspended sediments, the analysis of dimensionless cumulative curves of mass and volume, transported in flood waves, did not show any evidence of the occurrence of a “first flush” phenomenon. The particle size distribution of the bed material indicates predominant presence of medium and coarse sands. The determination of Manning’s coefficient, by means of a characteristic diameter for the river’s sandy bed, results in an average of 0.025, compatible with values found in scientific literature. It was verified that the majority of sediments was transported in approximately 25% of the annual time, concomitantly to the rainfall period. The solid contribution rates varied from 10 to 60t.km⁻².year⁻¹, which were below the average values of former researches in the region studied.

Keywords: *hidrosedimentology, sediment transport, solid yield.*

1. INTRODUÇÃO

A água desempenha um papel importante no desenvolvimento socioeconômico das nações. Sua disponibilidade em quantidade e qualidade compatíveis com os diversos usos é um dos fatores que determinam as características da sociedade lindeira.

As características de qualidade das águas derivam dos ambientes naturais e antropizados, onde se originam, circulam, percolam ou ficam estocadas. O conhecimento dos princípios desses fenômenos, em particular, do transporte de sedimentos pelo escoamento das águas é essencial para a interpretação e solução de problemas afins.

As enchentes e o aumento da erosão hídrica ocorrem como fenômenos integrantes de processos hidrossedimentológicos naturais do ciclo hidrológico. No entanto, tais processos têm sido intensificados e, portanto, agravados pelas atividades humanas, sobretudo pelo uso inadequado do solo, desmatamentos e urbanização.

O crescimento populacional mundial, e conseqüentemente o aumento no consumo básico de recursos naturais, vem causando encarecimento no valor das áreas agrícolas e dos recursos hídricos disponíveis. Por outro lado, as terras potencialmente agricultáveis vêm sendo agredidas cada vez mais intensamente pela erosões pluvial e hidráulica dos cursos d'água e dos lagos, naturais ou artificiais, sendo ainda paulatinamente assoreados pelos sólidos removidos de tais terras e para eles carregados. Tais processos são exarcebados pela ocupação desordenada das bacias hidrográficas perdendo, assim, a vegetação natural, que é sua proteção primária.

Os estudos propostos por esta pesquisa almejam contribuir para o desenvolvimento sustentado da Bacia do Rio Taquari, uma vez que o Rio Taquarizinho é um contribuinte do Rio Coxim e este, por sua vez, é afluente do Rio Taquari. Porquanto o rio em estudo se encontra em uma posição de planalto e em uma zona produtora de sedimentos, desperta-se a necessidade de compreender os processos hidrossedimentológicos referentes à produção e ao transporte de carga sedimentar que serão posteriormente carregados ao Pantanal.

O aproveitamento de dados históricos hidrológicos (precipitação, vazão, cota linimétrica, perfil transversal) do posto fluviométrico operado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA),

através do endereço eletrônico da Hidroweb (2007), é de grande valia pois indicará as tendências históricas das variáveis a serem acompanhadas em campo.

Outra importante fonte de dados históricos da região será proporcionada pelos estudos iniciados por Paranhos Filho (2000), que já apontava para mudanças regionais da cobertura e uso dos solos, efetivamente ocasionadas pela intervenção antrópica na bacia.

Há, portanto, necessidade de informações específicas, a fim de auxiliar à tomada de decisões dos órgãos gestores das bacias envolvidas, principalmente no que tange ao controle de erosão e aporte de sedimentos ao rio.

Conhecer o comportamento, a qualidade e a quantidade do sedimento transportado é de fundamental importância para estudos na bacia, para projetos de obras hidráulicas, estudos ambientais e dos diversos usos dos recursos hídricos.

Para tanto, este trabalho propõe-se analisar alguns parâmetros hidráulicos e hidrossedimentológicos na Bacia do Rio Taquarizinho, uma região de Mato Grosso do Sul com intensas atividades agropecuárias, que sofre de perdas de solo aos cursos d'água e, conseqüentemente, transporte de sedimentos. Através do monitoramento de variáveis, coleta e análise de amostras, buscar-se-á caracterizar os sedimentos transportados em uma seção do rio, bem como estimar a descarga sólida total de sedimentos em suspensão transportados durante eventos chuvosos, com amostragem em diversas cotas da onda de cheia do rio. Ademais, será avaliada a utilização do parâmetro físico turbidez para previsão de concentrações de sedimentos em suspensão.

2. OBJETIVOS

2.1 Gerais

Estimar a descarga sólida total de sedimentos em suspensão transportados pelo Rio Taquarizinho durante eventos chuvosos.

2.2 Específicos

- Estimar a produção anual total de sedimentos e a produção específica, com dados médios obtidos durante os eventos chuvosos;
- Avaliar as variáveis hidráulicas (cota, vazão, área molhada, perfil transversal) da seção de estudo e suas variações;
- Analisar a constituição granulométrica do material de fundo;
- Estimar o coeficiente de Manning por meio de um diâmetro característico do sedimento de fundo;
- Traçar curvas de tendência de descarga sólida (curva-chave), identificando os picos de concentrações;
- Determinar a concentração média dos eventos e as curvas acumuladas adimensionais de massa e volume, para análise do fenômeno de primeira lavagem;
- Avaliar o desempenho de modelos de previsão de aporte de sedimentos em suspensão, baseados na relação da turbidez encontrada.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os problemas relacionados ao sedimento e obras hidráulicas remontam a um pouco mais que 2000 a.C. na China, Egito e Mesopotâmia. Muitas obras dessa época ainda podem ser encontradas na Iugoslávia, Bulgária, Turquia e no norte da África (Simons & Senturk, 1977 *apud* Carvalho, 1994). O comportamento dos rios tem sido estudado por um longo período, devido sua relevante importância em transportes, agricultura, geração de energia, recreação e muitas outras aplicações. As enchentes nas bacias dos rios Yellow e Yangtze, na China, estão entre os mais custosos desastres naturais, em termos de números de perdas de vidas humanas em um único evento. Nos Estados Unidos, a média anual de mortes e a média de perdas anuais de propriedades por enchentes são tão grandes quanto àquelas provocadas por furacões ou tornados (Costa *et al.*, 1981 *apud* Meakin *et al.*, 1996). Os recursos hídricos tem sido o foco das atividades humanas através dos tempos. Tão importantes são os benefícios obtidos dos rios para sociedade, quanto é imperativo minimizar os efeitos das enchentes e outros desastres hídricos.

Ao se estudar as questões relacionadas à produção e ao transporte de sedimentos, é necessário entender a evolução dos conhecimentos do homem, em relação aos eventos hidráulicos e hidrológicos como um todo. Por diversas vezes na história, e em diversas partes do mundo, as populações sofreram as consequências de tais fenômenos, sempre buscando encontrar as devidas soluções, por meio de observações e pesquisa. Portanto, este item almeja relacionar alguns dos resultados já obtidos, os quais foram e são de importância à humanidade e ao estudo proposto.

3.1 Estudos na Bacia do Alto Paraguai

O comportamento hidrossedimentológico da Bacia do Alto Paraguai (BAP) tem um impacto no desenvolvimento ambiental e na convivência entre a população da região e nos ecossistemas aquáticos naturais. Na parte superior da bacia (acima das cotas de 200m), encontram-se os planaltos e depressões, onde os processos se assemelham às bacias hidrográficas tradicionais, com fluxo predominantemente no sentido horizontal e com tempo

de resposta de horas ou poucos dias, na relação precipitação-vazão. Na parte inferior (abaixo das cotas de 200m), encontra-se a planície, uma região de terras úmidas (*wetlands*), com um comportamento hidrológico diferenciado pelos grandes tempos de deslocamento do escoamento e grandes áreas de inundação (Brasil, 1997).

A expansão das áreas cultivadas e com pastagens nos planaltos e depressões tem intensificado o desmatamento iniciado por volta da década de 70, gerando áreas ambientais fragilizadas, devido ao aumento do escoamento superficial e produção de sedimentos (Brasil, 1997).

Tucci & Clarke (1997) consideram que o desenvolvimento econômico e a expansão das fronteiras agrícolas produziram alterações significativas na superfície e no uso do solo rural em países em desenvolvimento como o Brasil. O impacto dessas alterações tem sido discutido muito mais dentro de uma avaliação qualitativa do que quantitativa, já que o número de combinações entre as diferentes condições de clima, cobertura, solo, geologia e outros fatores são numerosos para permitir uma real estimativa dos impactos sobre o escoamento, produção de sedimentos e qualidade de água. Normalmente, as estimativas dos modelos matemáticos disponíveis não são confiáveis, devido à incerteza e empirismo dos parâmetros desses modelos. Mesmo quando os modelos matemáticos são utilizados para estimar os efeitos de mudanças, é necessário comparar e confirmar as previsões obtidas através desses modelos com observações obtidas em campo.

A Bacia do Alto Paraguai mostrou, ao longo do século XX, significativa variabilidade hidrológica. Na década de 70, ocorreram dois fatores importantes que são descritos a seguir.

O primeiro fator foi uma maior migração da população para o Planalto e a introdução do plantio de culturas anuais (como a soja) e aumento do rebanho de gado. As culturas anuais produzem dois efeitos fundamentais no ciclo hidrológico: aumento do escoamento médio, resultante do desmatamento e da contínua alteração no solo; e maior produção de sedimentos. O solo do Planalto é muito frágil e a expansão do gado geraram aumento significativo na produção de sedimentos (Brasil, 2001).

O redirecionamento do sistema produtivo, a partir da década de 70, na Bacia do Alto Paraguai, onde se insere o Pantanal, teve suas ações voltadas para a agropecuária, por meio de incentivos fiscais do Governo. Programas governamentais como o Polocentro e Polonoroeste tiveram como objetivo incorporar terras ao processo produtivo. Dessa maneira, milhares de

quilômetros quadrados de áreas florestadas (savanas e florestas estacionais) foram desmatadas para implantação de pastagens cultivadas ou de culturas agrícolas (Silva *et al.*, 1998).

No entanto, a área ocupada pela soja é insignificante se comparada com a área de gado (figura 3.1). Além disso, o solo onde o gado ocupa é pouco produtivo e frágil. Esta fragilidade facilita a erosão principalmente nos caminhos formados pelo deslocamento dos rebanhos.

O segundo fator importante foi o aumento da precipitação, que levou ao aumento da capacidade erosiva e da vazão média de enchente. Os resultados mostraram que na década de 60 as precipitações estiveram abaixo da média de longo período, da ordem de 15% (na média do período), durante todos os anos (figura 3.2) (Tucci, 2002).

Durante o período de chuvas, algumas propriedades produtivas passaram a ficar grande parte do ano inundadas e os leitos de rios se alteraram, devido à pequena resistência natural dos mesmos e ao aumento da vazão, criando condições adversas para o transporte fluvial e a conservação ambiental nos tributários do Rio Paraguai. Uma consequência direta desse processo de alteração do leito ocorre no Rio Taquari, onde a população utiliza a denominação de *arrombado*, para designar o rompimento de dique marginal produzido durante as cheias em rios de leito aluvional, como o Taquari. Com este rompimento, a propriedade é subdividida, comprometendo as áreas de pastagens (Brasil, 2001). Através das observações de uma seção na Fazenda Nascente (antiga Fazenda São Gonçalo – região do Caronal), pode-se verificar que, além das cargas de sedimentos provenientes da alta bacia, existe a contribuição sedimentar das perdas de solo das margens do Rio Taquari (Flores *et al.*, 2003). No posto monitorado, notou-se uma perda média de 1,5m/ano de margem e taxa de perda de área de 420m²/ano, em um trecho de 270m de extensão, indicando elevadas taxas. Estas podem variar de até cinco vezes entre os períodos de seca e cheia.

Em relação aos rios da Bacia do Alto Paraguai, a avaliação da erosão concentrada nas vertentes, efetuada qualitativamente a partir da potência hidráulica do escoamento superficial, mostra que os riscos são elevados nas bacias de cabeceiras com superfície máxima de 3.000km². Assim, os riscos de erosão concentrada são maiores nas cabeceiras dos rios Paraguai, Cuiabá, Coxim, Aquidauana, São Lourenço, Vermelho e Taquari (figura 3.3) (Brasil, 1997).

Observa-se na figura 3.3, que na zona de 100 a 150t/(km².ano) de erosão, pertencente à Bacia do Rio Taquari, coincide com a parte alta da bacia. Já na parte baixa da bacia,

corresponde a uma zona de depósito de até 100t/(km².ano), devido à pequena declividade desta planície.

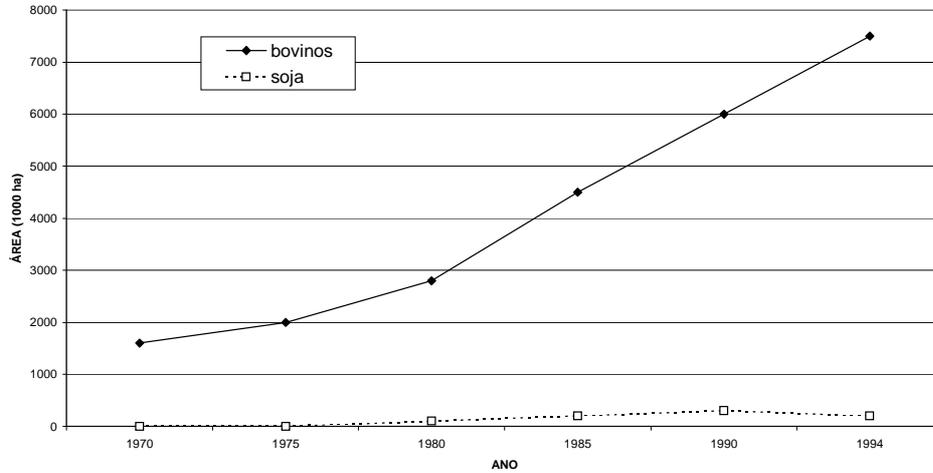


FIGURA 3.1 – Área ocupada por soja e bovinos em hectares (ha) na BAP.

Fonte: Collischonn (2001) *apud* Tucci (2002)

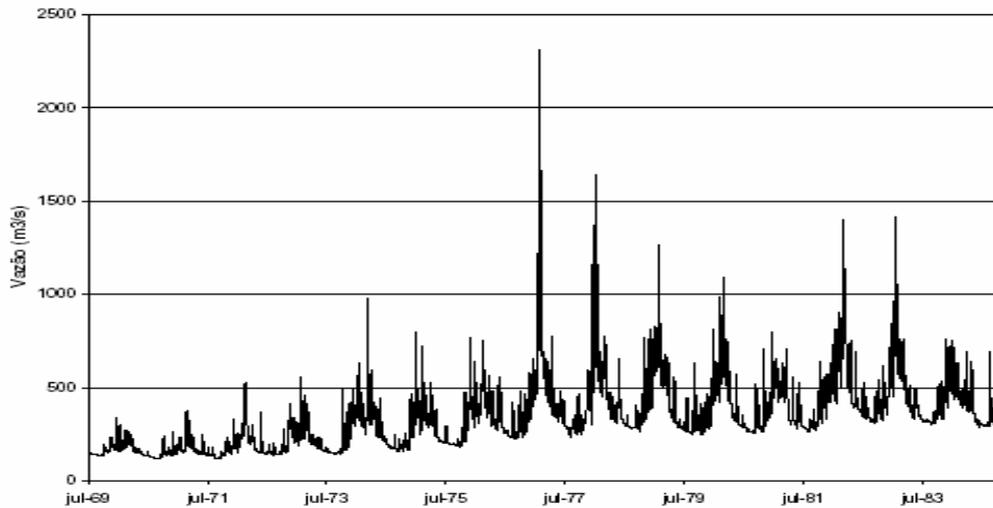


FIGURA 3.2 – Vazões em Coxim no Rio Taquari entre 1969 e 1984.

Fonte: Collischonn (2001) *apud* Tucci (2002)

Segundo Brasil (2003), que efetuaram medições de descarga líquida e sólida em diversas seções da BAP, o Rio Taquari, a montante do encontro com o Rio Coxim, transportou, no período chuvoso, em torno de 22.000t/dia de carga de sedimentos (descarga sólida total). O referido Rio Coxim transportou, no mesmo dia, aproximadamente 29.000t/dia de carga sedimentar total. Após o encontro destes, é de se esperar uma descarga sólida

superior a 50.000t/dia, provenientes da região de planalto da bacia, naquelas condições de amostragem e época do ano.

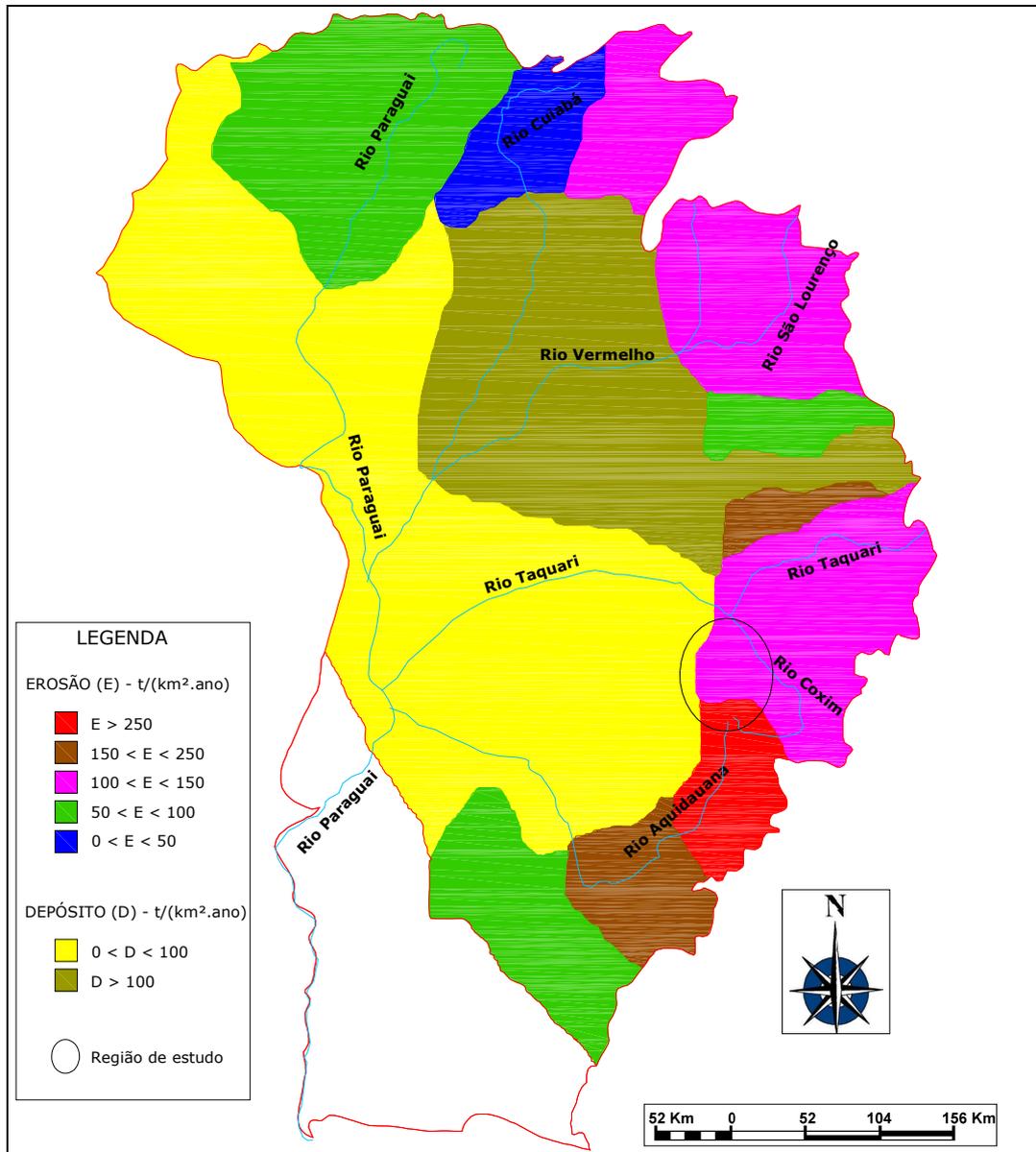


FIGURA 3.3 – Zonas de erosão e depósito de sedimentos na Bacia do Alto Paraguai.

Fonte: Modificado de Brasil (1997)

3.2 Estudos na Bacia do Alto Taquari

Há relativamente pouco tempo, o acompanhamento das diversas etapas do ciclo hidrossedimentológico vem ocorrendo com semelhante interesse àquele despendido ao ciclo hidrológico. A região em que se encontra a Bacia do Rio Taquari, por se tratar de uma zona tropical, apresenta altos índices pluviométricos. Assim, em determinadas épocas do ano, o

fenômeno natural de aporte de sedimentos rumo à saída da bacia, ou seja, ao Pantanal, é agravado pela elevada erosividade das precipitações (Galdino *et al.*, 2003).

A Bacia do Alto Taquari (BAT), com área de aproximadamente 28.000km², pertence ao conjunto de bacias do planalto que estão em segundo lugar em termos de risco de erosão potencial da Bacia do Alto Paraguai. Suas vertentes são predominantemente compostas de solos arenosos, sendo o mais importante o grupo das areias quartzosas com uma constituição de 90% de areia, altamente susceptíveis à erosão e predominam nas vertentes da alta bacia (Risso *et al.* 1997 *apud* Padovani *et al.* 1998a). Com a expansão da atividade agropecuária a partir do final da década de 70, sem o manejo adequado do solo, os processos erosivos se intensificaram, aumentando a produção de sedimentos e seu aporte para o Pantanal (Oliveira *et al.*, 1997 *apud* Padovani *et al.*, 1998a).

O Rio Taquari formou na planície pantaneira um imenso leque aluvial de aproximadamente 50.000km², representando 36% da área do Pantanal. Caracteriza-se como zona de deposição de sedimentos provenientes de alta bacia, no planalto adjacente. O desenvolvimento dos processos erosivos na alta bacia decorrentes da remoção da cobertura vegetal nativa para a implantação de pastagens e de cultivos anuais a partir da década de 70, aumentou a taxa de assoreamento do rio (Godoy *et al.*, 1998). Isso provocou a formação de novos meandros e aumento da inundação no seu baixo curso, acarretando impactos negativos para a pecuária local. Apesar da importância do conhecimento da deposição de sedimento e da perda de água do Rio Taquari, no Pantanal, os dados existentes restringem-se a amostragens isoladas, caracterizando demanda de pesquisa (Borges, 1996 *apud* Padovani *et al.*, 1998b).

Os planaltos de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul têm, através dos milênios, contribuído com um farto suprimento de sedimentos para a vizinha e mais rebaixada planície do Pantanal. A propósito, o Rio Taquari, carrega uma concentração de sedimentos considerável, a qual, às vezes, pode ser tão alta quanto 2500ppm. Essa alta carga de sedimentos é responsável pelas grandes dimensões de seu cone aluvional, o qual cobre, começando no seu ápice perto de Porto Rolon, extensas áreas do Pantanal. De fato, o Rio Taquari, o qual era navegável por pequenas embarcações de sua embocadura para montante, até a cidade de Coxim, não possui mais a navegabilidade, presumivelmente devido a pressões antrópicas na alta bacia (mudanças no uso do solo, de floresta para agricultura intensiva), as quais tiveram o efeito de acelerar a erosão das terras altas (Alho *et al.*, 1988 *apud* Ponce, 1995).

Um dos principais problemas para se avaliar a hipótese de aumento do aporte de sedimento para o Pantanal, nos últimos anos, está na carência de dados atuais e antigos que permitam uma comparação. Padovani *et al.* (1998a) reuniram os dados disponíveis e fizeram uma comparação dos dados coletados no período de 1977 a 1982 pelo extinto Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS), com os dados de 1995 a 1997 do Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal (CPAP), conforme a tabela 3.1. Observa-se que houve um aumento no aporte de sedimentos, considerando os valores médios de concentração e descarga sólida total, em um período de aproximadamente 20 anos.

TABELA 3.1 – Aporte de sedimentos no Rio Taquari, do planalto para o Pantanal.

Ano	Concentração (mg/L)		Vazão (m ³ /s)		Descarga Sólida Total (t/dia)	
	77-82	95-97	77-82	95-97	77-82	95-97
Número amostral	59	9	59	9	59	9
Máximo	2.369	1.374	879	769	129.512	120.643
Média	547	630	413	385	27.789	35.830
Mínimo	34	296	256	216	1.873	8.129
Desvio padrão	507	364	154	182	26.567	37.061

Fonte: Padovani *et al.* (1998a)

Godoy *et al.* (2002), ao analisarem a aplicabilidade da geocronologia de deposição de sedimento em lagos com ²¹⁰Pb na avaliação do assoreamento do Rio Taquari, concluíram que a metodologia adotada mostrou-se adequada para analisar os processos de influência humana nos ambientes recentes de sedimentação. Os sedimentos depositados em lagos, geralmente, refletem os processos erosivos da bacia de drenagem à montante (Flower *et al.*, 1984 *apud* Godoy *et al.*, 1998). Os autores salientam que a taxa contemporânea da massa de sedimentos é maior que aquela existente antes da expansão das atividades agrícolas, nos planaltos adjacentes ao rio. Isto confirma, o que estudos anteriores já vem apontando, que a expansão de atividades agrárias na Bacia do Alto Taquari é a causa do acelerado assoreamento do rio.

As preocupações com a correta avaliação das descargas sólidas assumem relevância especial, já que a própria formação dos pantanais, os quais caracterizam essa bacia, e os impactos que os mesmos podem sofrer estão muito ligados ao comportamento hidrossedimentológico dos rios que os formam (Bordas, 1995).

Nos últimos anos, devido à escassez de recursos financeiros disponíveis para operação e manutenção, houve reduções quantitativa e qualitativa dos postos sedimentométricos. Há a

necessidade de desenvolver alternativas que venham a reduzir os custos operacionais dos postos sedimentométricos. Uma das maneiras é diminuir o número de pontos de coleta de amostras e de medições em toda a seção transversal do rio, sem, no entanto, reduzir a qualidade dos dados (Henklein & Coiado, 1999). Todavia, é importante ressaltar que todos os monitoramentos realizados são investimentos em informações com a finalidade de subsidiar o gerenciamento dos recursos hídricos.

Paranhos Filho (2000) efetuou uma análise multitemporal sobre a Folha Coxim, onde está inserido a cabeceira da Bacia do Rio Taquarizinho, sob dois diferentes contextos. Num primeiro, pode-se fazer a comparação direta dos totais de cada tipo de uso dos solos presentes para os períodos indicados na tabela 3.2.

TABELA 3.2 – Percentuais dos tipos de uso dos solos nos diferentes períodos analisados, para a Folha Coxim.

Cobertura identificada	Período – Porcentagem (%)		
	1966	1985	1996
Áreas de atividade agropecuária	0,65	68,37	52,76
Áreas cobertas por vegetação natural ou renaturalizadas	88,91	30,40	40,39
Áreas de afloramento rochoso ou substrato aparente.	0,47	0,67	6,06
Áreas de vegetação rala ou de queimadas			
Áreas úmidas, rios e demais corpos aquosos	0,96	0,49	0,53
Não classificado	8,98	0,02	0,15
Total	100	100	100

Fonte: Paranhos Filho (2000)

As áreas cobertas por vegetação natural representavam 88,91% da superfície em 1966, tendo caído para 30,40% em 1985 e, por fim, 40,39% em 1996, indicando o intenso desmatamento e substituição dos sistemas naturais por aqueles agropecuários. As áreas ocupadas pela atividade agropecuária em 1966 representavam apenas 0,65% da superfície, tendo aumentado para 68,37% em 1985 e recuando a 52,76% em 1996.

Um segundo contexto para a análise multitemporal, em ambiente SIG, leva em consideração não só o tipo de mudança ocorrida, mas onde esta ocorreu. Assim, pode-se complementar os resultados, descritos acima, sabendo a partir de que tipo de cobertura foi gerado o novo tipo (Paranhos Filho, 2000).

A comparação com o valor equivalente na análise 1966/1985 mostra que existe um aumento de áreas “naturais” (cobertas por cerrado e florestas) de 1985 a 1996, significando o

abandono de áreas utilizadas pela agropecuária, onde voltam a se desenvolver o cerrado e a mata.

3.3 Estudos na Bacia do Rio Taquarizinho

A Bacia do Rio Taquarizinho localiza-se próxima as cidades de Rio Verde do Mato Grosso e São Gabriel D'Oeste, ao sul da cidade de Coxim. A área da bacia está compreendida entre as latitudes 18° e 20° Sul e as longitudes 54° e 55°30' Oeste (coordenadas geográficas da figura 3.4). Esta área apresenta agricultura intensiva (geralmente monocultura de milho ou soja) e pecuária extensiva, como principal uso dos solos. Segundo Hidroweb (2007), a estação fluviométrica – Próximo Rio Verde – código 66865000, tem área de contribuição de 518km². Este posto está localizado nas coordenadas geográficas de latitude 18°54'10" Sul e de longitude 54°48'34" Oeste. Existem disponíveis dados pluviométricos e fluviométricos neste posto, os quais apresentam as tendências hidrológicas e hidráulicas da seção.

Observando-se as mudanças ambientais dos sistemas naturais para os agropecuários, ocorridas na área, Paranhos Filho (2000) aponta que uma das questões de maior impacto é a erosão dos solos. O autor avaliou a perda dos solos na região, aplicando a Equação Universal de Perdas de Solo (USLE), que constitui em um importante instrumento de investigação sobre o processo erosivo pois, a partir da análise das características e propriedades dos fatores ambientais que são responsáveis pela perda de solos, permite a compartimentação da paisagem em níveis de instabilidade, possibilitando ações mais efetivas de planejamento ambiental e otimização dos recursos naturais (Wischmeier & Smith, 1958; Wischmeier, 1959; Bertoni *et al.*, 1975; Tavares, 1986; Vitte, 1997 *apud* Paranhos Filho, 2000). Esta modelação foi desenvolvida com a finalidade de calcular a perda média de solos por área em períodos longos (A), proveniente da erosão laminar e por sulcos. A USLE traduz a ação conjunta dos fatores naturais: erosividade das chuvas (R); erodibilidade dos solos (K); comprimento e declividade das vertentes (L, S) e de fatores antrópicos, tais como, o uso e manejo dos solos (C) e de práticas conservacionistas (P), que são as principais influências no processo erosivo hídrico, dada pela eq.(3.1).

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (3.1)$$

É interessante observar que a intensidade da erosão de uma área qualquer pode ser mais influenciada pelo declive, características da chuva, cobertura vegetal e manejo, do que pelas propriedades do solo (Paranhos Filho, 2000). Contudo, alguns solos são mais erodíveis

que outros, mesmo quando as características morfológicas, a cobertura vegetal, os fatores meteorológicos e as práticas de controle da erosão são iguais. Essa característica, devido às propriedades inerentes ao solo, é referida como erodibilidade do solo.

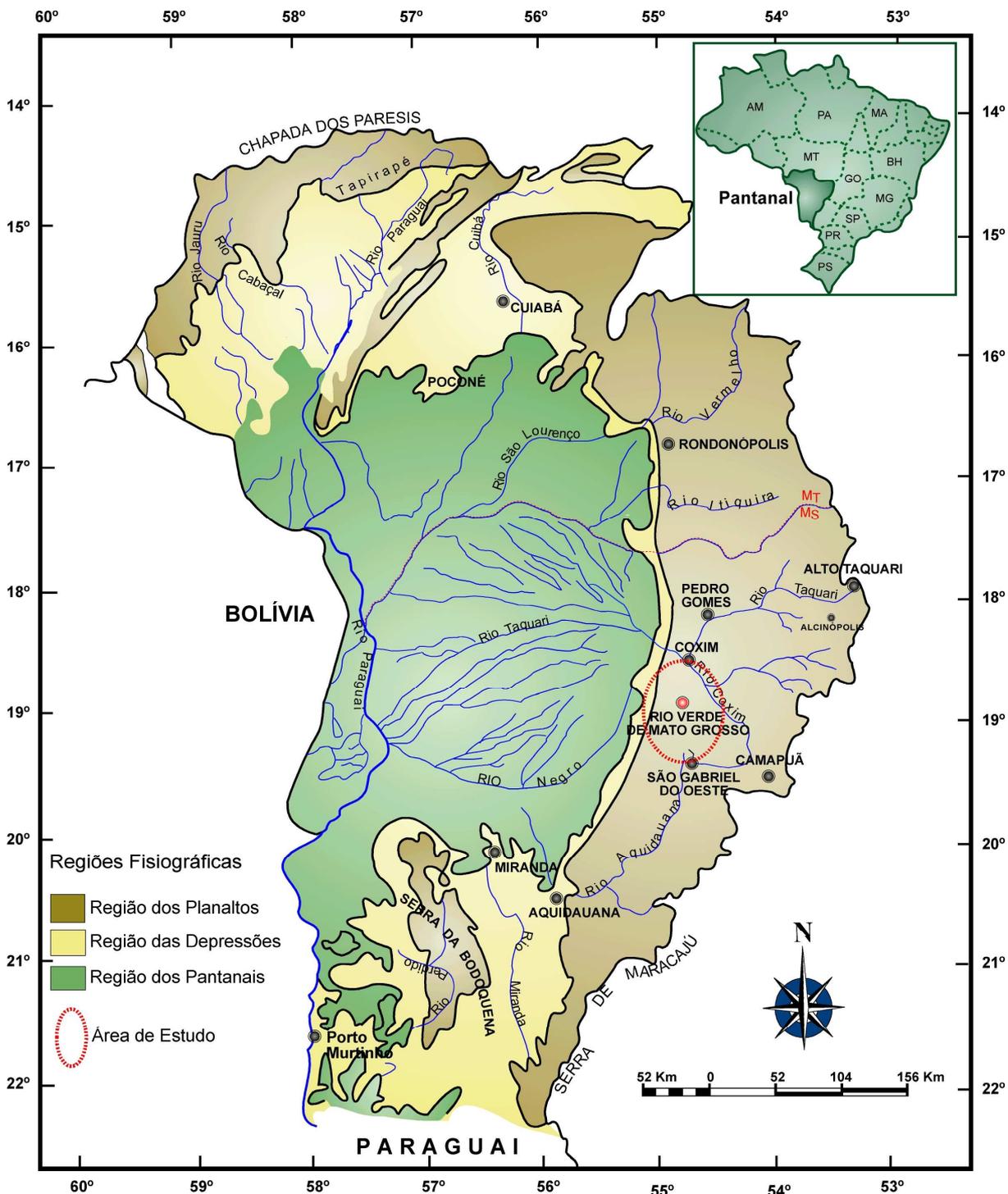


FIGURA 3.4 – Localização da Bacia do Rio Taquarizinho e o limite da Bacia do Alto Paraguai.

Fonte: Modificado de Brasil (2003).

Os tipos de solo encontrados na área da Bacia do Taquarizinho são: solos litólicos; areias quartzosas; podzólico vermelho amarelo; e latossolo vermelho escuro (Paranhos Filho, 2000). Segundo o estudo realizado, em 1994, por Galdino *et al.* (2003), os litólicos, as areias quartzosas e o latossolo vermelho amarelo foram as classes de solos com maior índice de perda de solo. Há que se ressaltar que a partir de 1999, a classificação brasileira de solos sofreu uma mudança em sua estrutura. É conveniente que haja uma reclassificação adequada aos parâmetros estabelecidos pelo novo Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (Embrapa, 1999).

A erosividade das chuvas no Pantanal, segundo Brasil (1997), foi determinada com base em dados pluviométricos de 140 estações pluviométricas distribuídas na região da Bacia do Alto Paraguai. A área da Bacia do Taquarizinho pertence às zonas de erosividade elevada a muito elevada, apresentando o valor médio de erosividade para a toda a bacia de $7030\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Galdino *et al.* (2003) avaliaram onze estações pluviométricas na Bacia do Alto Taquari (BAT), obtendo o mapa da erosividade das chuvas (figura 3.5). A erosividade média anual das chuvas na BAT, no período de 1969 a 1989, foi de $7.914,3\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, variando entre 7.000 a $9.000\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. De acordo com estudo realizado no Estado do Paraná (Rufino, 1975 *apud* Galdino *et al.*, 2003), os valores de erosividade das chuvas na BAT podem ser considerados elevados, pois se encontram acima de $7.000\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Observou-se também aumento da erosividade das chuvas no sentido oeste-leste, possivelmente relacionado com a altimetria da bacia.

Galdino *et al.* (2003) apontaram que os solos de alta erodibilidade recobrem 79,19% da superfície da BAT. Em 1994, 41,97% da BAT estava recoberta com vegetação nativa, e as pastagens cultivadas cobriam 51,85% da superfície da bacia. A perda média de solo na BAT, estimada neste período em $70,39\text{t/ha.ano}$, o que equivale a $7.039\text{t/(km}^2.\text{ano)}$, é considerada como grau de erosão alto. Neste levantamento, a sub-bacia do Taquari, foi a que apresentou a maior perda de solo, sendo que nas áreas ocupadas por pastagens, esta perda foi superior ao dobro das ocorridas em áreas cultivadas com soja. Os autores alertam que, a incorporação de novas áreas ao sistema agropecuário, representa um grande risco de intensificação dos processos erosivos na BAT.

Para a Bacia do Rio Taquarizinho, em 1966, mais de 86% da superfície era ocupada por áreas naturais (14,47% de florestas e 71,76% de cerrado). Em 1985, as superfícies naturais representavam menos de 28%. Em 1996, ainda menos, cerca de 26,5%. Outro dado

importante é o da área agrícola que, em 1966, representava apenas cerca de 9% da área, em 1985 mais de 70% da superfície era ocupada por atividades agropecuárias, valor que caiu para cerca de 61% em 1996.

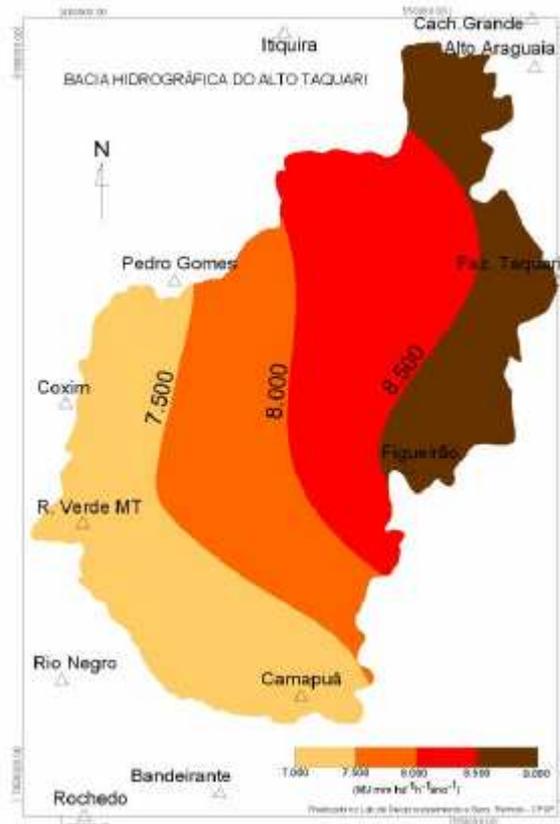


FIGURA 3.5 – Distribuição da erosividade anual das chuvas na Bacia do Alto Taquari.

Fonte: Galdino *et al.* (2003)

A diminuição da área utilizada para as atividades agropecuárias poderia estar associada a dois fatores: à evasão rural ou ao aumento de áreas degradadas. Esta última, porém, no caso da Bacia do Rio Taquarizinho, não parece ser o caso, pois em 1996 o total da superfície coberta por áreas degradadas está em cerca de 2%. Outro indicativo da evasão rural na Bacia do Rio Taquarizinho pode ser obtido observando-se que a área urbana cresceu de 0,10% da superfície da bacia em 1966 para 0,13% em 1985 e 0,62% em 1996 (um aumento de cinco vezes em onze anos), à medida que a área ocupada pelas atividades agropecuárias caiu no mesmo período (Paranhos Filho, 2000). Nas figuras 3.6 e 3.7, pode-se verificar respectivamente a evolução dos usos dos solos e a estimativa de perdas por erosão laminar, calculada pela USLE.

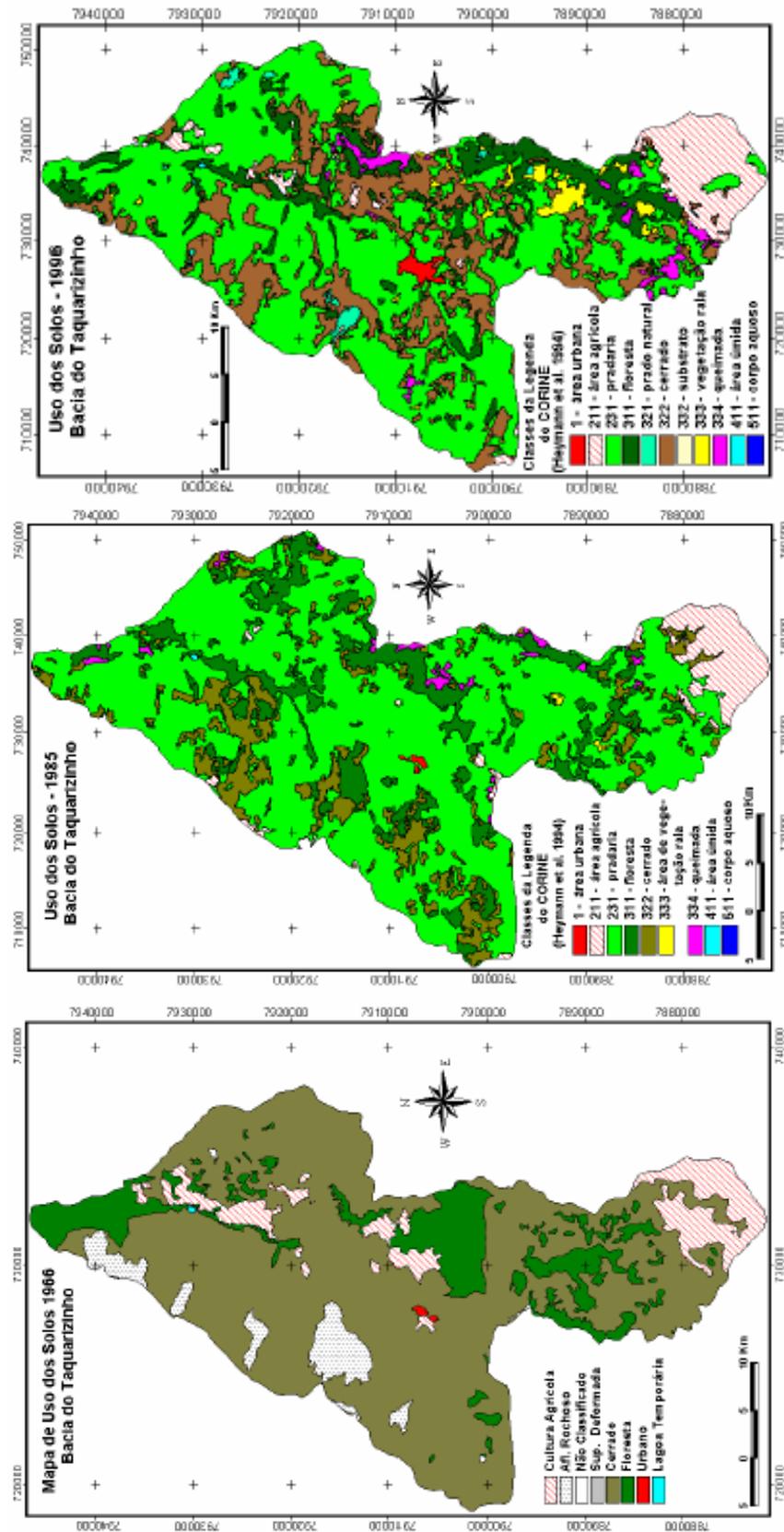


FIGURA 3.6 – Carta do uso do solo de 1966, 1985 e 1996, para a Bacia do Rio Taquarizinho.

Fonte: Paranhos Filho (2000)

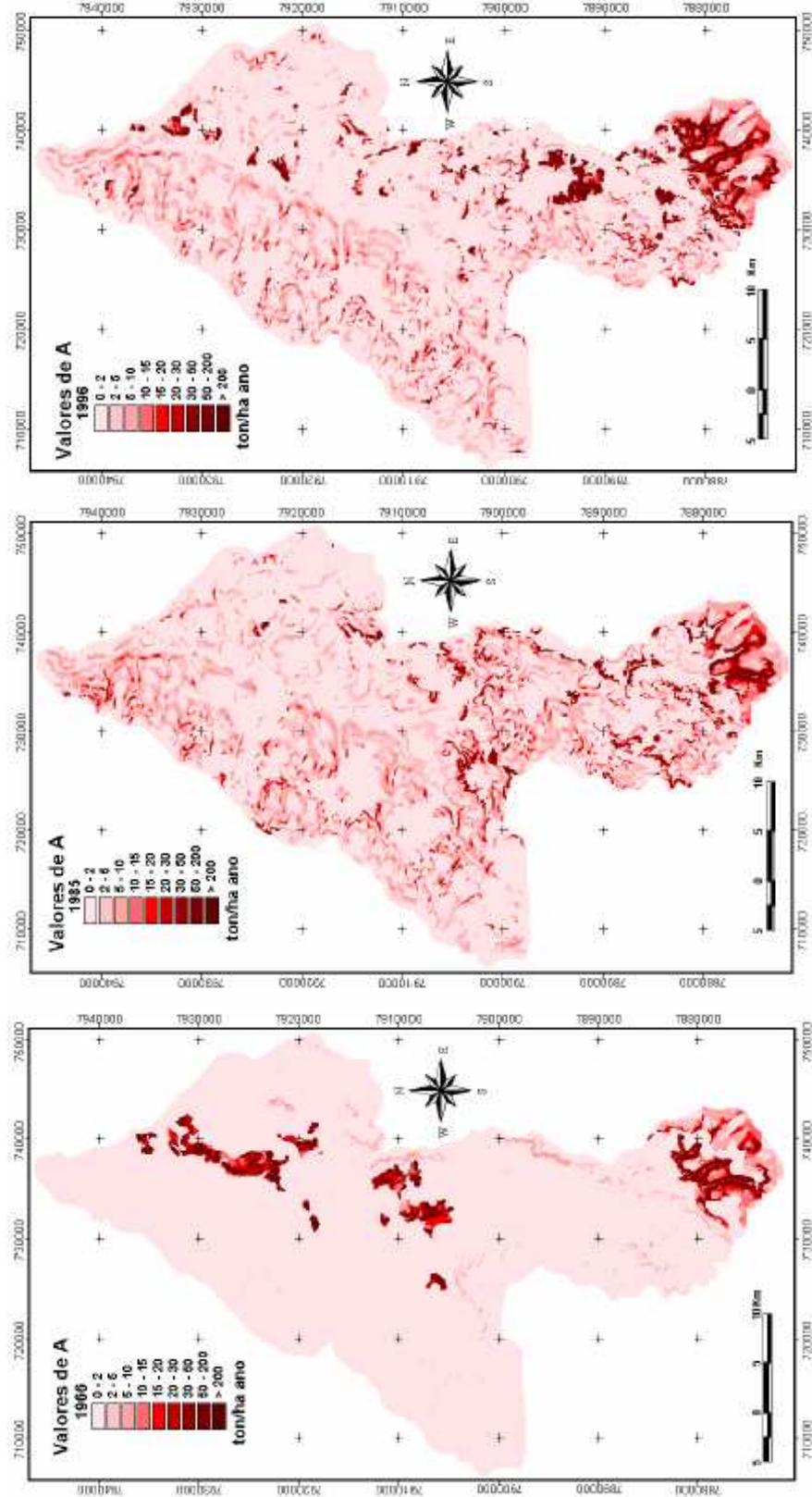


FIGURA 3.7 – Valores de perda por erosão laminar para a Bacia do Rio Taquarizinho em 1966, 1985 e 1996.

Fonte: Paranhos Filho (2000)

As perdas médias anuais de solo por erosão laminar (A), calculadas através da USLE, mostraram valores médios para toda a Bacia do Rio Taquarizinho de 4,44t/ha em 1966, de 5,53t/ha em 1985 e de 8,65t/ha em 1996. Valores considerados baixos pela classificação da FAO (1974) *apud* Paranhos Filho (2000). Segundo esta classificação, os valores de perdas de solo por erosão, encontrados na área desta bacia, estão compreendidos entre as classes de erosão ligeira ou moderada. Na região das escapas, foram localizadas zonas onde a taxa de erosão laminar potencial chega a níveis mais altos. Porém, o valor da erosão média laminar de 1996 é praticamente o dobro daquele de 1966. Em 1966, antes do início da intensificação das atividades agropecuárias, os valores de A, em geral, não ultrapassavam 2t/(ha.ano). Já em 1985, bem como 1996, com o aumento do uso da terra, principalmente pela agricultura intensiva (milho e soja), verificou-se um aumento nos valores de A (em alguns casos, da ordem de 50 vezes, ou mais), bem como uma maior distribuição espacial destes altos valores, que em 1966, estavam concentrados em algumas zonas agrícolas específicas.

No estudo de Bacchi (2007), também efetuou-se a aplicação da USLE. Observa-se a produção muito alta de sedimentos (tabela 3.3) nas áreas das sub-bacias 17 e 21, ao lado esquerdo do curso d'água principal, onde se constata a existência de maiores declividades e vegetação rala. O mesmo ocorre nas sub-bacias 20, 23 e 27. O total estimado de produção anual de sedimentos é de 1.185,588t/ha e sendo a área de 494,7km², ou seja, de 49470ha, resulta em 58.651.038,36 toneladas por ano. O somatório das cinco sub-bacias apresentadas (856,923t/ha) representam aproximadamente 72% da produção total da bacia considerada.

TABELA 3.3 – Valores referenciais de produção de sedimentos.

Sub-bacia	Total USLE t/(ha.ano)	
17	374,343	Legenda: Baixa: < 10 t/(ha.ano) Moderada: 10 a 50 t/(ha.ano) Alta: 50 a 200 t/(ha.ano) Muito alta: > 200 t/(ha.ano)
20	50,910	
21	296,215	
23	73,726	
27	61,729	
Subtotal	856,923	
Total da bacia (1 a 33)	1.185,588	

Fonte: Bacchi (2007)

A sub-bacia 17 e 21 tem como características o solo areia quartzosa e porções de relevo fortemente ondulado (a leste) e suavemente ondulado (a oeste), ambos com vegetação rala (figura 3.8). O uso do solo tem sido fator determinante nos valores de produção de

sedimentos. Nesse sentido, a principal recomendação é quanto ao uso do solo, principalmente em áreas de relevo inclinado, que devem estar sempre cobertas.

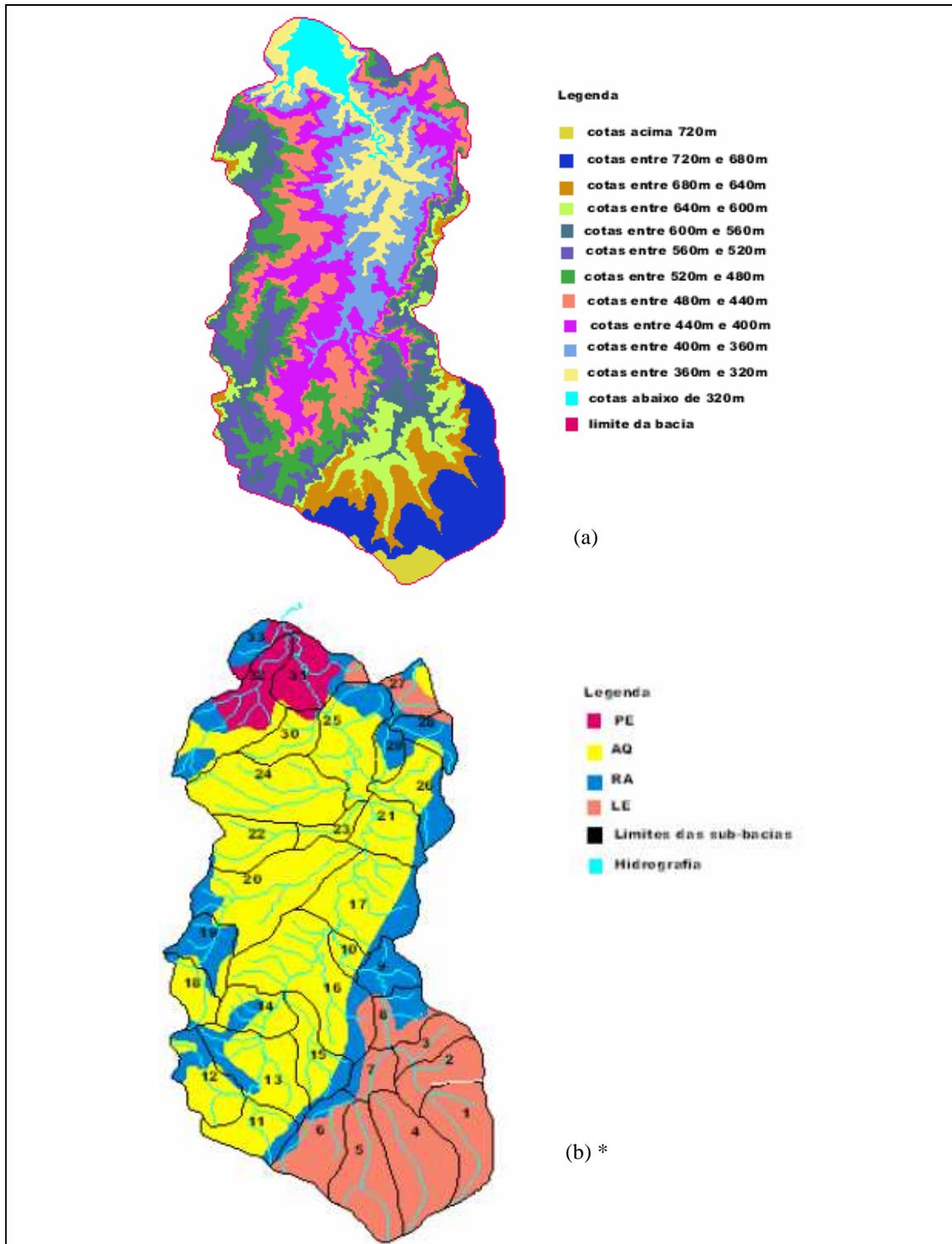


FIGURA 3.8 – (a) Layers das áreas referentes às curvas de nível; (b) Layers referentes aos tipos de solos, hidrografia e limites de sub-bacias.

* PE - podzólico vermelho amarelo; AQ - areia quartzosa; RA - litólico e LE - latossolo vermelho amarelo.

Fonte: Bacchi (2007)

Os valores de previsão de produção de sedimentos das sub-bacias deste estudo, devem ser analisados qualitativamente, visto que muitos dados foram estimados. Contudo, os modelos aplicados possibilitam a identificação de áreas mais vulneráveis e de maior produção de sedimentos. Bacchi (2007) aponta para que sejam realizadas pesquisas, que forneçam mais informações da região.

No estudo preliminar realizado por Oliveira *et al.* (2005), foram analisados quatro parâmetros de qualidade de água (fósforo total, nitrogênio amoniacal, coliformes termotolerantes e sólidos suspensos totais) durante o período de um evento chuvoso, com coletas de amostras durante a variação da vazão em uma seção do Rio Taquarizinho-MS. Todos os parâmetros analisados sofreram grandes variações em suas concentrações tidas como base, ou seja, aquela que é observada antes da ocorrência do evento estudado. Estes resultados preliminares indicam que a variação de concentrações dos constituintes, durante os eventos chuvosos, torna os parâmetros “flutuantes”, em função da descarga líquida. Este fato pode gerar dificuldades na avaliação da qualidade da água em ambientes lóticos. Foi observado que a precipitação é o agente natural causador das variações observadas, juntamente com o uso e ocupação do solo. A poluição gerada pode ser caracterizada como sendo “instantânea” na escala temporal e difusa espacialmente.

A área de drenagem do Rio Taquarizinho possui atividades predominantemente agropecuárias: culturas intensivas de soja e milho, safras de sorgo e, para cobertura de entressafra, cultiva-se milheto e trigo; e pecuária extensiva de corte, porém, esta última, é a atividade principal atual (Ibge, 2005). Segundo estudos de Paranhos Filho (2000), os tipos de solo desta área são: solos litólicos; podzólico vermelho amarelo; areias quartzosas; e latossolo vermelho escuro. A geologia é composta de Formação Aquidauana do Grupo Itararé, Formação Botucatu do Grupo São Bento, Cobertura Detrítico-laterítica e Formação Ponta Grosso do Grupo Paraná. O clima predominante é quente úmido caracterizado com um período de três meses de seca, segundo Ibge (2005). A precipitação média na bacia é de aproximadamente 1.400mm anuais, havendo considerável estiagem nos meses de junho a agosto (Brasil, 2004).

3.4 Monitoramento de bacias

Reda & Jaquiê (2002), ao estudarem a bacia do Ribeirão Campestre (com 60,7km²), localizada sobre o arenito Bauru, formação Adamantina, São Paulo, observaram que uma parte considerável do transporte de sedimentos originados pela erosão ocorre durante enxurradas combinadas a enchentes, sendo que o monitoramento dos eventos é fundamental para uma correta avaliação do correspondente transporte sólido. Na maior parte das vezes, o monitoramento rotineiro de concentrações de sedimentos é efetuado com frequência mensal, semanal ou, na melhor das hipóteses, diária de coleta de amostras isoladas. Com isto, é impossível detectar-se as importantes cargas de sólidos que ocorrem durante transitórios hidráulicos (enxurradas e enchentes) em bacias hidrográficas de médio e pequeno porte.

Dada a baixa concentração de sólidos observada no tempo seco, em comparação com as marcas atingidas por esta variável temporal durante a cheia, a erosão pluvial de solos rurais demonstra ser a causa principal da produção das cargas de sedimentos afluentes ao ribeirão estudado – portanto, a causa principal do assoreamento nele observado (Reda & Jaquiê, 2002). Estas conclusões evidenciam a importância de se monitorar o transporte fluvial de sedimentos na bacia de forma mais contínua, bem como de se manter uma análise de fluxos de massa, ano a ano – em oposição à prática comum de se coletar amostras rotineiras e isoladas de vazão e concentração de sedimentos em períodos quaisquer.

A dinâmica espacial e temporal do fluxo de sedimento suspenso ao longo de um trecho de 55km do Rio Swale, Yorkshire, UK, foi investigado por Smith *et al.* (2003), durante o período de julho-94 a junho-96. Dezesete eventos de tormentas foram monitorados, os quais produziram transporte de sedimento em suspensão considerável. As variações na dinâmica do fluxo de sedimentos e no armazenamento de sedimento nos trechos durante os eventos representam uma combinação da erosão do leito do canal e/ou deposição, erosão das margens e deposição em planícies de inundação. Por vezes, essa variação pode ser explicada em termos da dimensão do evento, da distribuição da precipitação e sua intensidade, e das condições antecedentes de armazenamento de sedimentos. Os pesquisadores concluíram que o fluxo de sedimentos varia consideravelmente e pode ser atribuído a configuração espacial de quantidade e intensidade de precipitações na bacia, tanto quanto as condições antecedentes de umidade do solo, trabalhos de agricultura, época do ano e da dimensão considerada em cada evento individualmente. Observou-se que a maior parte dos sedimentos finos ocorreram em

eventos chuvosos, dos quais os períodos de tempo totalizam menos que 5% do ano, estando concentrados em uma época específica do ano (verão).

Segundo Browne (1989) *apud* Gomes *et al.* (2005), os dados de concentração são úteis para comparar a qualidade da água com o padrão, comparar a concentração de poluentes com o período seco e determinar a frequência e duração da degradação da qualidade da água durante o período de chuva. Já os dados de carga são úteis para o desenvolvimento de informações estatísticas para tomada de decisão, desenvolvimento de modelos simples usados para prever a média anual de poluente e calibrar modelos complexos de simulação de fontes não pontuais.

Segundo Thomson *et al.* (1997), em geral, dois métodos são usados para coletar amostras de qualidade de água de drenagem pluvial de rodovias. Neste caso, é possível estender tal metodologia para drenagem pluvial rural. Os métodos são por amostragem discreta e composta. A primeira é pontual, discreta no tempo, enquanto a segunda é desenvolvida por processo de média ponderada, na qual toma-se vazões instantâneas como pesos. As amostras discretas no tempo podem não representar o evento, mas a concentração média do evento, sendo uma amostragem composta, caracteriza a qualidade da drenagem pluvial em sua totalidade.

Neste caso, é relevante citar o estudo de Shinma (2004), quando realizou coletas de amostras de qualidade de água utilizando os dois métodos de amostragem: i) pontual (não isocinética); e ii) composta pelo método de Igual Incremento de Largura – IIL (isocinética). Nesta pesquisa, as coletas pontuais foram efetuadas utilizando o amostrador de Van Dorn horizontal. O pesquisador realizou estatística de teste para comparar as médias de vários parâmetros de qualidade de água para pontos de coleta pontual e composta, a fim de comparar os dois métodos. Os cálculos de estatística de Teste-t mostraram que, aos níveis de significância de 10% e 5%, aceita-se a hipótese de igualdade das médias para cada parâmetro analisado em 18 pontos. Porém, o pesquisador recomenda que mais testes sejam feitos para que haja maior confiabilidade.

3.5 Definições

3.5.1 Ciclo hidrossedimentológico

O estudo do ciclo hidrossedimentológico, compreende, conjuntamente, o ciclo hidrológico, do qual está relacionado e dependente. Envolve o deslocamento, o transporte e o depósito de partículas sólidas presentes na superfície da bacia (Tucci, 1997).

Os processos responsáveis pela sedimentação são muito complexos, abrangendo erosão, deslocamento das partículas por enxurradas, ou outros meios, até os rios, transporte do sedimento nos cursos d'água, deposição do sedimento na calha dos rios, lagos e reservatórios e sua compactação. Todos esses fenômenos que envolvem o sedimento (remoção, transporte e deposição de material) são processos naturais que sempre ocorreram através dos tempos geológicos, sendo responsáveis pela evolução da paisagem originando as formas geomorfológicas (Santos *et al.*, 2001). É um fenômeno que depende de processos erosivos que ocorrem nas vertentes da bacia e no leito e margens dos rios, e que fornecem material que, por sua vez, depende da energia do fluxo para ser transportado. A combinação dessas variáveis, fornecimento de material e energia do fluxo, resulta em grande variabilidade no tempo e no espaço.

Como parte do processo hidrossedimentológico, é possível distinguir os principais fenômenos que ocorrem, tais como desagregação, separação (ou erosão), transporte, sedimentação, depósito e consolidação (Tucci, 1997). Pode-se classificar os agentes erosivos em dois tipos: ativos e passivos. Os primeiros são a água, temperatura, insolação, vento, gelo, neve, a ação de microrganismos e a ação humana. Já os segundos referem-se a topografia, gravidade, tipo de solos, cobertura vegetal, formações superficiais e as práticas adotadas pela ação antrópica (Carvalho, 1994).

3.5.2 Sedimento

Sedimentos são materiais erodidos e susceptíveis de transporte e deposição. São as partículas derivadas de rochas, ou de materiais biológicos, que podem ser transportados por fluido (Carvalho, 1994). A sedimentometria é a parte da hidrometria que trata da medida da quantidade de sedimentos transportados pelos rios. A quantificação é feita por meio de medições de descarga sólida, estudada juntamente com a fluviometria (Santos *et al.*, 2001).

De modo geral, os sedimentos podem ser definidos como uma coleção de partículas minerais e orgânicas encontradas no rio, formando importante componente desse ecossistema aquático, pois além de fornecerem substrato para uma grande variedade de organismos. Os sedimentos mais finos funcionam como um reservatório dos inúmeros contaminantes de baixa solubilidade, desempenhando importante papel nos processos de assimilação, transporte e deposição desses contaminantes. Dessa forma, os sedimentos constituem-se em fontes de contaminação primária para os organismos bentônicos e secundária para a coluna d'água (Adams, 1992 *apud* Brigante & Espindola, 2003).

O sedimento não é apenas o maior poluente hídrico, mas também serve como agente catalisador, carregador e armazenador de outras formas de poluição (Julien, 1998; Vanoni, 1977). Isoladamente, o sedimento degrada a qualidade da água para o abastecimento urbano, recreação, consumo e resfriamento industrial, produção de hidroeletricidade e vida aquática. Devido às interações iônicas entre solutos e as partículas sólidas dos sedimentos, estes se tornaram uma fonte crescente de preocupação quanto ao transporte e armazenamento de pesticidas, fósforo adsorvido, nitrogênio e outros componentes orgânicos, além de bactérias patogênicas e diversos vírus.

O sedimento origina-se do intemperismo de rochas que são frequentemente uma mistura de vários minerais (Chien & Wan, 1999). Quartzo e feldspato são as duas substâncias que ocorrem mais comumente na composição mineral do sedimento, variando entre 80 e 90% (tabela 3.4). Por isso, mesmo com a grande diversidade e complexidade da constituição mineral do sedimento, o peso específico das partículas geralmente varia entre 2,60 e 2,70g/cm³. Para sedimentos mais grossos, com diâmetros maiores que 2mm, pode ser encontrado mais do que um mineral em sua composição. Aqueles com o diâmetro inferior a 2mm são normalmente compostos de apenas um tipo mineral. A distribuição granulométrica das partículas de sedimento, incluindo o grau de uniformidade, reflete diretamente as propriedades das rochas originárias e a intensidade do processo de seleção do fluxo do rio, estão também intimamente relacionados à quantidade de sedimento transportado.

Dados primários podem ser dispostos em forma de tabelas ou, mais usualmente, na forma de gráficos ou perfis, tais como: a) gráficos de frequência (histogramas); b) gráficos acumulados (curvas tipo S); c) distribuições no tempo/profundidade; d) gráficos de distribuição espacial (isopletras). Resultados primários são frequentemente processados por meio de análises estatísticas. A disposição de dados secundários inclui medidas tais como

média aritmética, média ponderada, mediana e desvio padrão. Para populações de distribuição não-normal é necessária uma caracterização pelo uso da moda, assimetria e curtose. A assimetria representa o grau de assimetria em relação à curva de distribuição normal. Assimetria positiva significa a predominância de material mais grosso. Curtose representa o grau de irregularidade do pico da curva de distribuição em relação à curva normal. Curtose positiva significa uma curva mais pontuda (Golterman *et al.*, 1983).

TABELA 3.4 – Classificação e composição mineralógica dos sedimentos.

Classificação		Pedregulho, seixo, cascalho	Areia	Silte	Grossa	Argila Média	Fina
Composição mineral	Diâmetro (mm)	>2	2-0,05	0,05- 0,005	0,005- 0,001	0,001- 0,0001	<0,0001
Minerais principais	Mono-mineral	Poli-mineral	-----				
		Quartzo	-----				
		Feldspato	-----				
		Mica	-----				
Minerais secundários	Mineral argiloso	SiO ₂	-----				
		Caolinita	-----				
		Hidromica	-----				
		Montmorilonita	-----				
		Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃	-----				
		CaCO ₃ , MgCO ₃	-----				
Húmus		-----					

Fonte: Chien & Wan (1999)

Uma parcela da carga detrítica dos cursos d'água é proveniente da ação erosiva que o movimento da água exerce sobre as margens e o fundo do leito (*bed load*). Entretanto, maior parte é fornecida pela remoção detrítica das vertentes (*wash load*). Assim, reconhece-se que o transporte de sedimentos é governado pelos fatores hidrológicos que controlam as características e o regime do escoamento superficial e pelas características das partículas que compõem a carga de sedimentos. Os fatores hidrológicos (quantidade e distribuição das precipitações, estrutura geológica, condições topográficas e cobertura vegetal) influenciam a formação do material intemperizado na bacia hidrográfica e o carreamento desses materiais até os rios. O fluxo e o transporte de sedimentos constituem respostas aos processos e ao estado de equilíbrio atuantes no sistema fluvial (Christofolletti, 1981). Segundo o estágio de

evolução do curso d'água, haverá maior ou menor transporte. A dinâmica do transporte fluvial está intimamente relacionada com a velocidade das águas. A figura 3.9 ilustra a relação entre a velocidade de escoamento das águas e a granulometria do material encontrado no canal. O gráfico mostra que três grandes processos podem agir na calha fluvial: erosão, transporte e deposição (Carvalho, 1994).

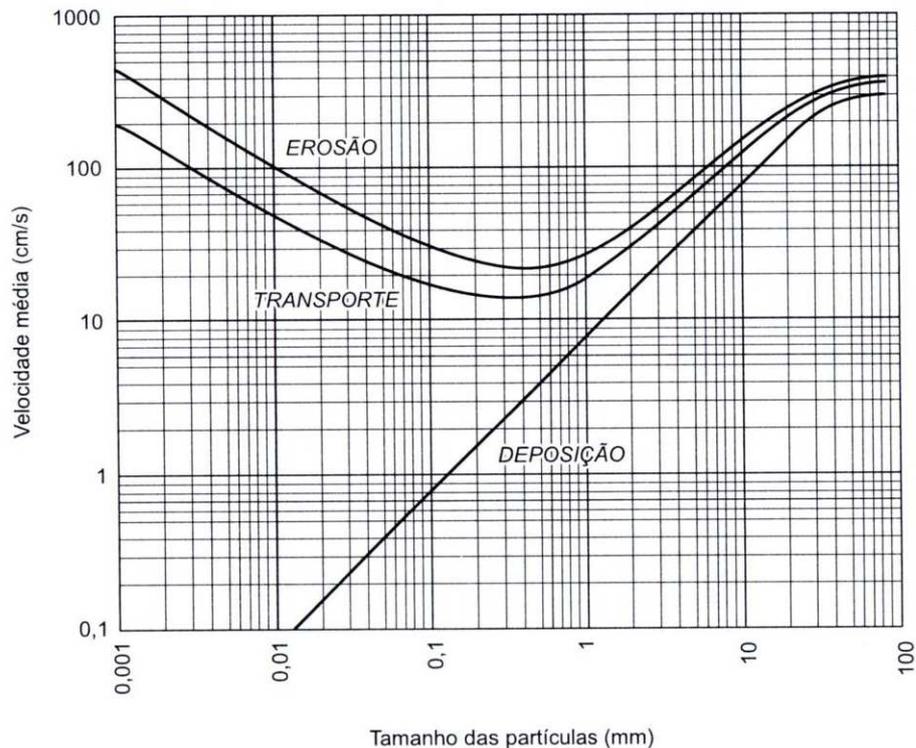


FIGURA 3.9 – Variação da velocidade média e tamanho das partículas e suas relações com os processos fluviais.

Fonte: Hjulstrom (1935) *apud* Christofolletti (1981)

A carga de sedimentos diz respeito ao tipo de material transportado, enquanto que o termo “descarga sólida” ou “descarga de sedimentos” é definido como a massa total de sedimentos que passa em uma seção transversal do rio por unidade de tempo, geralmente expressa em toneladas por dia (Vanoni, 1977).

Outra grandeza física importante no transporte de sedimentos é a concentração, expressa em mg/L e definida como a razão entre a carga de sedimento na amostra e o volume total, multiplicado por um fator numérico de ajuste das unidades (Santos *et al.*, 2001).

A carga total de sedimentos é composta por materiais fornecidos pelos processos químicos, físicos e biológicos que governam a erosão e pelos mecanismos de transporte de

massa no regolito. No processo de transporte fluvial de sedimentos, pode-se distinguir três tipos de cargas: dissolvida, em suspensão e do leito (Santos *et al.*, 2001).

A literatura científica entende por fase dissolvida todo material que passa através de uma membrana filtrante de 0,45 μ m. Recomenda-se, ainda, que o material do filtro seja do tipo inerte, como, por exemplo, acetato de celulose, teflon, fibra-de-vidro, de acordo com o tipo de análise subsequente que se deseje realizar na fase dissolvida (Carvalho, 2000b).

A carga sólida em suspensão são as partículas suportadas pelas componentes verticais das velocidades do fluxo turbulento, enquanto estão sendo transportadas pelas componentes horizontais dessas velocidades (Silva *et al.*, 2003). A carga em suspensão é normalmente a parte predominante da carga sólida total, em razão da qual, a frequência é estabelecida visando medir a descarga em suspensão (Carvalho *et al.*, 2000a).

A carga sólida do leito ou de arrasto são as partículas de sedimento que rolam ou escorregam longitudinalmente no curso d'água. As partículas estão em contato com o leito praticamente o tempo todo. Muito próximo ao fundo do leito, ocorre o transporte sólido por saltação (ou carga sólida saltitante ou saltante). Esta carga são as partículas que pulam ao longo do curso d'água, por efeito da correnteza ou pelo impacto de outras partículas. O impulso inicial, que arremessa uma partícula na correnteza, pode ser proveniente do impacto entre elas, o rolamento de uma sobre a outra ou o fluxo de água sobre a superfície curva de uma partícula, criando assim uma pressão negativa (Silva *et al.*, 2003).

Para a maioria dos estudos de bacias hidrográficas e rios, a análise hidrológica é o primeiro passo necessário. Isto porque a água é o mecanismo propulsor para erosão e transporte de sedimentos (Simons *et al.*, 1982). A avaliação da suficiência de dados disponíveis para dar suporte às várias fases do estudo do sistema fluvial é um elemento essencial da análise. Considerações devem ser dadas aos vazios nos dados disponíveis, na necessidade de coleta, e nas técnicas para síntese de dados e análise da sensibilidade dos dados. A necessidade de dados é, com certeza, dependente da complexidade tanto do sistema quanto do método de análise. A exigência de dados para o estudo de uma grande bacia, incluindo a modelagem do canal, de tributários e da bacia, estão descritos na tabela 3.5. Essa tabela inclui a descrição dos dados e a avaliação do grau de importância, para cada fase particular do estudo. É claro que para um projeto em particular, uma certa categoria de dados podem ser considerados de primeira importância ao invés de secundária, e, possivelmente, vice-versa.

TABELA 3.5 – Dados necessários da bacia para a modelagem do canal.

	Descrição dos Dados	Grau de Importância
A.	Mapas e cartas	
	Mapa topográfico do ambiente do rio	Primário
	Mapa geológico do ambiente do rio	Secundário
	Cartas hidrológicas	Primário
B.	Fotografias aéreas e outras	
	Fotografias do rio em grande escala e de terrenos da redondeza	Secundário
	Fotografias do rio em pequena escala e de terrenos da redondeza	Primário
	Fotografias coloridas em infravermelho para as configurações de fluxo, zonas de erosão e vegetação	Secundário
	Imagens de satélites (Ikonos, Landsat TM, outros)	Primário
C.	Estruturas hidráulicas (estruturas existentes e planejadas)	
	Plantas e detalhes de projeto	Primário
	Alterações e reparos	Secundário
	Escavação	Primário
	Procedimento de operação	Primário
D.	Hidrologia e hidráulica	
	Registros de descarga	Primário
	Registros de velocidade de fluxo	Primário
	Registros de nível de água	Primário
	Curvas de frequência de enchentes	Secundário
	Registros de descarga de sedimentos (material do leito e carga de lavagem)	Primário
	Resistência ao fluxo	Primário
E.	Geometria do canal	
	Seções transversais	Primário
	Ilhas	Primário
	Planície de inundação	Primário
	Declividade do leito	Primário
	Declividade da superfície da água	Primário
	Banco de areia	Primário
	Sinuosidade	Secundário
	Controles (cachoeiras, corredeiras, estreitamento de rochas, afloramento do estreitamento de rochas, barragens, desvios)	Primário
F.	Hidrografia	
	Hidrograma de água	Primário
	Hidrograma de sedimento (material do leito e carga de lavagem)	Primário
G.	Granulometria dos sedimentos	
	Distribuição granulométrica do material de leito	Primário
	Distribuição granulométrica do material da margem	Primário
H.	Dados ambientais	
	Comunidade ribeirinha	Secundário
	Salinidade	Secundário
	Turbidez	Secundário
	Temperatura da água	Secundário
	Habitat dos peixes	Secundário
	Qualidade química	Secundário
I.	Dados climatológicos	
	Precipitação	Secundário
	Ventos	Secundário
	Temperatura do ar	Secundário

Fonte: adaptado de Simons *et al.* (1982)

Um programa de longa duração de estudos de sedimentos normalmente consistirá de uma série de objetivos de complexidade crescente (Golterman *et al.*, 1983):

- a) Caracterização preliminar do local – amostragem de baixa densidade para obter uma caracterização geral da área;
- b) Identificação de anomalias – amostragem mais detalhada e análises, projetadas para estabelecer a presença e extensão das anomalias;
- c) Estabelecimento de referências – criação de pontos de referência, na forma de alguns parâmetros, para futura comparação;
- d) Identificação de mudanças no tempo – destacar tendências e variações dos dados de sedimentos ao longo do tempo, através de repetidas amostragens;
- e) Cálculo do balanço de massa;
- f) Estudos dos processos – amostragem especializada para melhorar o conhecimento atual a respeito dos sistemas aquáticos, através de pesquisas.

Os tipos de equipamentos e a acuracidade necessária para a amostragem de sedimento são diretamente relacionados à acuracidade da medição requerida, e isto está relacionado, por sua vez, ao objetivo do programa. Em geral, estudos para caracterização dos recursos naturais podem ser completados com equipamento simples e com menos acuracidade do que estudos relacionados aos processos. A relação entre o projeto do estudo e seu objetivo é, entretanto, complicada pelos fatores logísticos, que incluem algumas preocupações como: a) disponibilidade de local para amostragem; b) disponibilidade de tempo; c) acesso à região de amostragem; d) adaptabilidade do sistema de pesquisa para posicionar as amostragens; e) disponibilidade de pessoal treinado e equipe de apoio; f) disponibilidade de equipamento; g) armazenamento e segurança; h) sistema de transporte; i) capacidade de continuidade dos estudos. Golterman *et al.* (1983) assinalam que, como uma regra geral, a logística deve ser mantida tão simples quanto possível.

Compreender os mecanismos que controlam o transporte de sedimentos em rios é de fundamental importância para os campos da hidráulica, da hidrologia e dos recursos hídricos. Vazões em rios são geralmente tridimensionais, não-permanentes, em estado turbulento de fluxo, e envolve interações de fases diferentes. Apesar de numerosos livros e artigos sobre o

assunto terem sido publicados, os detalhes da micro-mecânica de ressuspensão, transporte e deposição de sedimentos ainda não são completamente compreendidos (Shams *et al.*, 2002).

Toda partícula de sedimento que passa por uma dada seção transversal de um rio deve satisfazer as duas seguintes condições: 1) deve ter sido erodida em algum lugar na bacia hidrográfica acima desta seção; 2) deve ter sido transportada pela água, do local de sua erosão até aquela determinada seção. A estas condições, Einstein (1964) *apud* Julien (1998) adicionou que cada uma dessas duas condições devem ser limitadas pela taxa de transporte de sedimento, dependendo da magnitude relativa de dois controles: a) a capacidade de transporte do rio considerado; b) a disponibilidade de material na bacia. Deste modo, a quantidade de material transportado em um rio depende de dois grupos de variáveis:

- 1) aquelas que governam a capacidade de transporte de sedimento do curso d'água, tais como: geometria do canal, largura, profundidade, forma, perímetro molhado, alinhamento, declividade, vegetação, rugosidade, distribuição de velocidades, força de atrito, turbulência e uniformidade da descarga;
- 2) aquelas que demonstram a qualidade e a quantidade do material disponível para o transporte pelo rio, incluindo: topografia da bacia, geologia, a magnitude, intensidade e a duração da precipitação e derretimento de neves, intemperismo, vegetação, tipo de cultura, plantio e uso do solo, tipo de solo, tamanho da partícula, forma, peso específico, resistência ao desgaste, velocidade de deposição, mineralogia, coesão, superfície de erosão, rompimento de margem e suprimento de sedimento dos tributários.

As frações de sedimentos finos que formam a carga de lavagem do rio são rapidamente levadas pelo escoamento e são relativamente independentes dos parâmetros de fluxo, sendo mais sensíveis ao suprimento de material para o canal. O transporte da fração mais grossa de sedimento, a carga do leito, é dependente de um balanço entre o fornecimento de material e os parâmetros do fluxo (Vanoni, 1977).

Em uma bacia hidrográfica, a substituição da vegetação nativa por culturas e pastagens cultivadas sem a adoção de manejo adequado e práticas conservacionistas de solo, normalmente aumentam a compactação da superfície do solo, causam redução na infiltração da água, aumento no escoamento superficial, e, conseqüentemente, aumento no deflúvio da bacia (Galdino *et al.*, 2002). Entre outros fatores, o equilíbrio entre a erosão, transporte e

deposição de sedimentos na bacia de um rio, está intimamente relacionado com o estado natural de sua cobertura vegetal (Einstein, 1972 *apud* Wilson Jr., 2000).

Wilson Jr. & Andrade (2000) afirmam que quando a quantidade de sedimentos introduzida na corrente líquida excede sua capacidade de transporte, o excesso de sedimentos deposita-se. Diz-se que o leito do rio, no trecho considerado, está se “agradando” ou se assoreando. Inversamente, se a taxa de introdução de sedimentos na corrente líquida é menor que sua capacidade de transporte, o leito do rio e/ou margens são erodidas. Nesse caso, o escoamento líquido provoca a erosão ou degradação do leito e margens, a fim de suprir a deficiência de sedimentos.

Segundo Schumm & Lichty (1965) *apud* SIMONS *et al.* (1982), apresenta-se um breve resumo das variáveis que constituem um sistema de drenagem fluvial: tempo; relevo inicial; geologia (litologia, estruturas); clima; vegetação; relevo ou volume do sistema acima do nível da base; hidrologia (produção de escoamento e sedimento por unidade de área dentro da zona 1); morfologia da rede de drenagem; morfologia da inclinação das montanhas; hidrologia (descarga de água e sedimento para as zonas 2 e 3); morfologia do canal e vale e características do sedimento (zona 2); morfologia do sistema de deposição e características do sedimento (zona 3). Na figura 3.10, apresenta-se as zonas de produção (zona 1), transferência (zona 2) e deposição (zona 3), desde a área da bacia de produção de sedimentos (a montante) até a área da bacia de deposição de sedimentos (a jusante), em um sistema fluvial idealizado.

Em relação ao transporte de sedimentos do rio principal, a carga em suspensão é predominantemente maior do que a de fundo (90 a 95%) no alto curso. A carga de fundo vai crescendo à medida que a erosão da bacia vai diminuindo e a declividade do curso d’água também (65 a 90% de sedimento em suspensão). A porcentagem de sedimento em suspensão e do leito é muito dependente da granulometria do sedimento transportado. Assim, quando há grande quantidade de areia, a porcentagem transportada no leito pode até mesmo ser maior que a em suspensão (Carvalho, 1994).

Valores de produção de sedimentos altos, como 200t/(km².ano), são muito prejudiciais, podendo afetar reservatórios com depósitos indesejáveis. Segundo critérios internacionais, pode-se considerar os valores da tabela 3.6 como indicação para estudos.

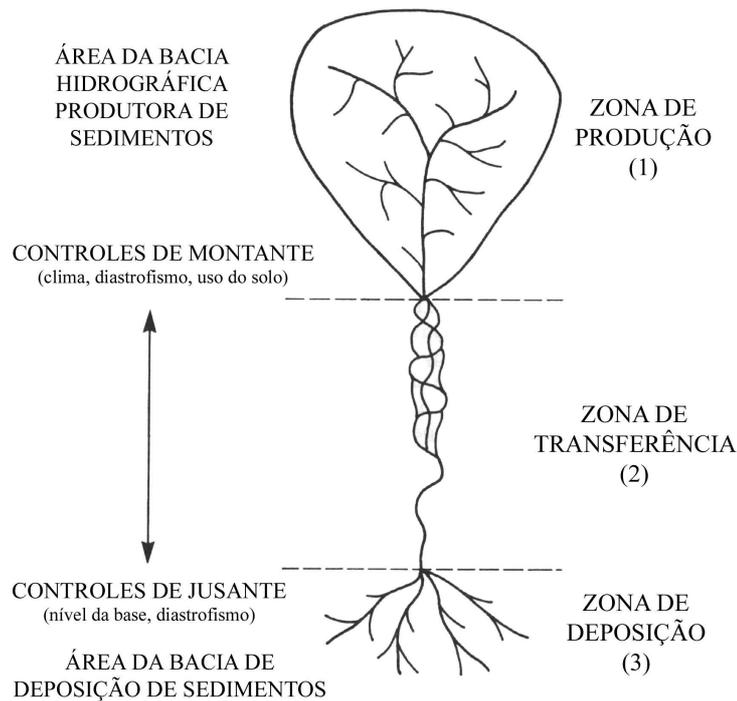


FIGURA 3.10 – Sistema fluvial idealizado.

Fonte: Simons *et al.* (1982)

TABELA 3.6 – Valores referenciais de produção de sedimentos.

Tolerância	Produção de sedimentos
	t/(km ² .ano)
Alta	175
Moderada	70 a 175
Baixa	35

Fonte: Carvalho (2000a)

A erosão hídrica em áreas agrícolas provoca impacto ambiental pela redução da capacidade produtiva dos solos e pelo transporte dos sedimentos e agroquímicos para os corpos de água. A redução da capacidade produtiva ocorre pela remoção das camadas superficiais do solo pelo escoamento, que é capaz de transportar até os corpos de água as frações mais finas que foram removidas (Rockenbach *et al.*, 2000). Junto com o transporte das frações mais finas são transportados, também, nutrientes (nitrogênio e fósforo principalmente), resíduos de agroquímicos (fungicidas, herbicidas e inseticidas) e resíduos orgânicos (dejetos animais, principalmente) que comprometem a qualidade da água para consumo humano e animal.

As erosões, em bacias urbanas, apresentam características bastante diversas das correspondentes às bacias rurais, quer no que diz respeito ao processo físico, como à dimensão das áreas envolvidas. Do ponto de vista de instabilidade da morfologia de cursos d'água, a erosão rural tem um caráter mais extensivo que as erosões urbanas, apresentando, no entanto, taxas específicas de contribuição muito inferiores (Ramos, 1995).

O assoreamento, em corpos d'água, pode ocorrer dentro de um processo natural de redução da capacidade de transporte sólido, associado, de maneira geral, à redução dos níveis de energia de escoamento. Esse processo pode ser acelerado em decorrência de ocupações inadequadas na bacia de contribuição sem os devidos cuidados conservacionistas, com o conseqüente incremento no aporte sólido. Há uma forte correlação entre a forma da seção, a declividade do curso d'água e a granulometria. Ramos (1995) descreve que nos trechos superiores dos rios, onde a declividade é mais acentuada e o material do leito é graúdo, as seções são mais largas e rasas. Nestes trechos, a potência hidráulica do escoamento confere uma capacidade de transporte superior ao suprimento da bacia, havendo uma tendência generalizada à erosão.

Conforme Carvalho (1994), o transporte de sedimentos, que se processa nos cursos d'água, ocorre em maior quantidade na época chuvosa. Foi verificado que 70 a 90% de todo o sedimento transportado pelos rios se processa no período de chuvas, principalmente durante as fortes precipitações. Considerando que a ocorrência de maior ou menor erosão é função de muitos fatores (ativos e passivos), com forte influência das chuvas, é importante o objetivo deste estudo, visto que a programação de medições de sedimento está voltada a contemplar esse aspecto.

3.5.3 Turbidez

Medições de turbidez são de interesse em estudos de sedimentos em águas naturais porque tem sido obtido como um registro da condição do rio por muitos usuários hídricos, onde dados regulares de sedimento não estão disponíveis. Devido a sua adaptabilidade à automação, a turbidez tornou-se uma promissora ferramenta para obter informações de sedimentos em águas superficiais, em que pesquisas são necessárias para manter os padrões de qualidade da água. Turbidez é basicamente uma expressão da quantidade de luz que é espalhada ou absorvida, ou ambas, pela mistura água-sedimento. Diferentes tipos de

turbidímetros apresentam diferentes calibrações e, portanto, os resultados podem não ser comparáveis. Frequentemente, apenas o efeito nefelométrico (reflexão da luz) é usado por estes instrumentos (Vanoni, 1977).

Em relação à turbidez, as águas da maioria dos rios brasileiros são naturalmente turvas em decorrência da natureza geológica de sua bacia de drenagem. Porém, há também contribuição das fortes chuvas tropicais que carregam componentes dos solos expostos, erodíveis ou agricultados, trazendo partículas de argila, silte, fragmentos de rocha e óxidos metálicos do solo para dentro dos ambientes aquáticos. Da mesma forma, os valores de turbidez podem indicar o lançamento de esgotos domésticos e de efluentes das atividades industriais na bacia de drenagem. A turbidez quando é alta afeta a qualidade da água, reduzindo a transparência e diminuindo a capacidade das plantas aquáticas de realizar a fotossíntese. Também provoca a obstrução das guelras dos peixes, danifica os ovos e afeta a população de macroinvertebrados (Brigante & Espindola, 2003).

A figura 3.11 apresenta a relação entre a turbidez e a concentração de sedimentos em suspensão, obtidos em estudo da bacia hidrográfica do Alto da Colina, Santa Maria-RS. Esta bacia é localizada em área urbana e tem área de 1,80km². Tais relações são extremamente importantes quando se utiliza sonda de turbidez para avaliar a produção de sedimentos. Segundo Paiva *et al.* (2002), os resultados observados apresentaram boa correlação. No entanto, como a lei de ajuste é exponencial, em altas concentrações o erro envolvido neste tipo de análise é bastante elevado. Desta forma, apesar da facilidade de avaliação da concentração de sedimentos de forma indireta, é preciso ter cautela e um adequado volume de dados de campo.

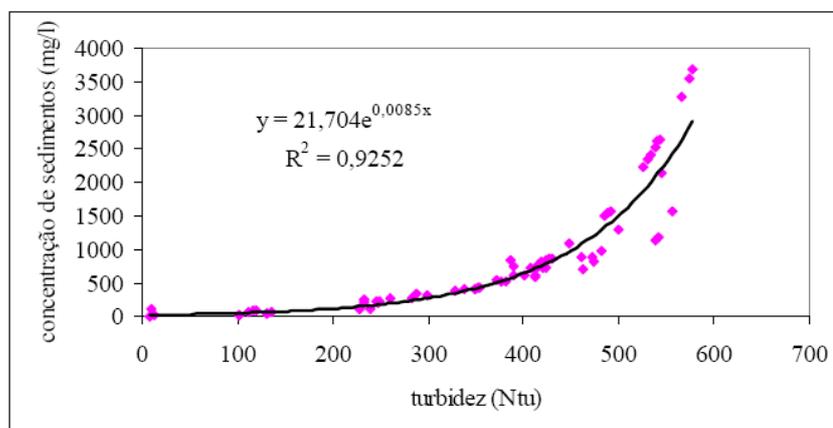


FIGURA 3.11 – Relação entre concentração de sedimentos em suspensão e turbidez.

Fonte: Paiva *et al.* (2002)

Conforme Santos *et al.* (2001), as partículas finas possuem turbidez muito maior que as partículas grossas, desta forma a medida da turbidez é mais sensível à concentração de materiais finos e pouco sensíveis a areia. Em bacias rurais, dependendo da faixa de concentração de sedimentos, estas correlações podem ser adequadas.

A determinação da concentração de sólidos suspensos (CSS) é realizada através de análises laboratoriais, o que demanda elevados tempos para obtenção dos resultados e custos operacionais. Na tentativa de otimizar a determinação desse parâmetro, Teixeira *et al.* (2006) desenvolveram algumas expressões que correlacionam a CSS e a turbidez da água, apresentadas na tabela 3.7. Nesse contexto, foi avaliado o desempenho de alguns modelos nos afluentes do Rio Alegre - ES, tendo contribuído para a obtenção de métodos mais diretos e menos custosos na determinação da CSS. Os níveis de erros encontrados entre valores de CSS estimados e medidos mostraram ser promissora a aplicação de modelos de estimativas da concentração de sólidos suspensos através da turbidez. Este parâmetro se mostrou importante para a determinação indireta da concentração de sólidos suspensos, já que neste estudo os modelos geraram erros relativos inferiores a 18%. No entanto, a validação das equações só podem ser verificadas com concentrações superiores a 20mg/L.

Paranhos & Paiva (2005) desenvolveram pesquisas na bacia hidrográfica Menino de Deus II, na cidade de Santa Maria-RS, com área de 5,03km², em que foi avaliada a relação entre sedimentos em suspensão e turbidez. Ao se desprezar os valores de turbidez acima de 527UNT, foi possível encontrar uma curva de ajuste, mostrada na tabela 3.7.

TABELA 3.7 – Modelos de previsão da CSS por faixa de concentração e de turbidez.

Faixa de previsão CSS (mg/L) Turbidez – T (UNT)	Equação do modelo	R ²
20 a 640 ⁽¹⁾	$CSS_1 = (0,83.T - 7,513)^{1,030}$	0,9971
20 a 40 ⁽¹⁾	$CSS_2 = (9,816.T - 139,07)^{0,625}$	0,9819
20 a 80 ⁽¹⁾	$CSS_3 = (0,770.T - 1,719)^{1,019}$	0,9917
20 a 160 ⁽¹⁾	$CSS_4 = (0,473.T + 1,260)^{1,138}$	0,9954
20 a 320 ⁽¹⁾	$CSS_5 = (0,442.T + 1,410)^{1,157}$	0,9967
T < 527 UNT ⁽²⁾	$CSS_6 = 0,046T^{1,53}$	0,7650
T < 600 UNT ⁽³⁾	$CSS_7 = 21,704e^{0,0085T}$	0,9252

Fonte: ⁽¹⁾ Teixeira *et al.* (2005); ⁽²⁾ Paranhos & Paiva (2005); ⁽³⁾ Paiva *et al.* (2002).

3.5.4 Polutograma e suas características

As concentrações de poluentes no escoamento gerado variam ao longo do evento hidrológico, assim como variam as vazões. É de se esperar que tais valores formem um “polutograma”, com a mesma forma genérica do hidrograma correspondente (Ide, 1984). É difícil calcular-se ou prever-se a distribuição temporal das concentrações de poluentes. Na maior parte dos estudos de poluição por cargas difusas, o objetivo principal é a avaliação do impacto do lançamento sobre o corpo receptor, medido através das concentrações dos poluentes geralmente ao final do evento de precipitação, bastando ter-se conhecimento da carga total de poluentes lançada. No caso de ser necessário prever-se essa distribuição temporal, há que se fazerem estudos mais detalhados, com levantamento extensivo de dados durante períodos chuvosos específicos (Porto, 1995).

Segundo Vanoni (1977), curvas características para diferentes tipos de tormentas podem ser definidas. Por exemplo, se o escoamento de um evento é de baixa intensidade, a concentração de sedimento no canal é comparativamente baixa no início do escoamento direto e aumenta vagarosamente com o aumento da taxa de escoamento, até um pico, e então diminui lentamente. Se uma precipitação é intensa, a concentração de sedimento é comparativamente alta no início do escoamento direto e aumenta rapidamente. Essas condições resultam em um efeito-laço no gráfico do transporte de sedimento. Sob certas condições, é possível, para eventos com alta intensidade de escoamento, atingir a máxima concentração logo na ascensão do escoamento. Isso é válido para bacias onde o intemperismo dos solos ou leitos dos rios ou ambos, durante períodos longos e secos, tiver produzido uma grande quantidade disponível de material fino e transportável.

Frequentemente, é necessária a determinação da produção de sedimento de vários eventos de enchentes, ou combinações de tempestades, e sua probabilidade de ocorrência. Esse conhecimento é requerido para o correto gerenciamento e manuseio de problemas que ocorrem na operação de reservatórios e represas, na validação da efetividade de terraços ou em uma prática alternativa de conservação do solo. Também, é importante por afetar o grau de tratamento das águas de captação e de disposição. A maioria do sedimento em suspensão é produzido pelas pequenas tempestades, as quais são definidas como aquelas que ocorrem não menos que uma vez ao ano ou mais freqüente, em média. As grandes tempestades são definidas como aquelas que ocorrem com menor freqüência do que uma vez a cada dois anos, em média (Vanoni, 1977).

3.5.5 Concentração média do evento

Os polutogramas exibem enormes diferenças entre eventos de precipitação e, portanto, o fator Concentração Média no Evento (CME) tem sido preferido para indicar a carga poluidora total que será lançada no corpo receptor. A CME de um evento é dada pela relação da massa total do poluente pelo volume total escoado. A carga total do poluente produzida durante um evento pode ser obtida através da coleta de diversas amostras, ao longo do tempo de duração do escoamento, juntamente com o levantamento do hidrograma.

Segundo Lee *et al.* (2002), a CME é um parâmetro analítico importante, pois representa uma concentração média ponderada, tendo o deflúvio líquido como peso. A CME é calculada como sendo a massa total (M_T) do poluente dividida pelo volume total (V_T) do escoamento superficial, para um evento de duração t_r , conforme a eq.(3.2).

$$CME = \frac{M_T}{V_T} = \frac{\int_0^{t_r} C(t)Q(t)dt}{\int_0^{t_r} Q(t)dt} \quad (3.2)$$

Onde:

M_T – massa total do constituinte no evento

V_T – volume total do escoamento no evento

t_r – tempo de duração do evento

$C(t)$ – concentração do constituinte variável no tempo

$Q(t)$ – descarga líquida variável no tempo

O estabelecimento da concentração média do evento como parâmetro indicador do potencial poluidor de cada evento de precipitação traz algumas vantagens, conforme apresenta Novotny (1992):

- para um mesmo local, as CMEs exibem distribuição log-normal, podendo ser associadas probabilidade e frequência de ocorrência;
- é um parâmetro conciso, representado um conjunto de dados muito variável;
- a comparação entre diferentes eventos e diferentes locais é mais fácil de ser feita.

De acordo com Lee *et al.* (2002), a concentração média do evento é um importante parâmetro analítico porque é apropriado para avaliar os efeitos das águas pluviais nos corpos receptores. Estes receptores respondem relativamente lento as entradas de escoamento proveniente do evento chuvoso, quando comparado com a taxa de variação da concentração dos constituintes durante o evento. A CME pode ser útil para caracterizar os constituintes do escoamento, apesar da grande variação do valor da concentração da carga poluidora ao longo do evento de chuva (Gomes *et al.*, 2005).

3.5.6 Efeito de primeira lavagem (*first flush*)

Um dos fenômenos discutidos, quando se trata de prever polutogramas, é a ocorrência da chamada carga de primeira lavagem (*first flush*). O período inicial da drenagem pluvial, no qual a concentração de poluentes é substancialmente mais alta do que em períodos posteriores é denominado de primeira lavagem (Ide, 1984; Lee *et al.*, 2002).

A explicação mais comum é a de que se trata da remoção inicial do material acumulado no período de chuvas, quer sobre o solo, quer no interior das canalizações, significando que o pico do polutograma ocorreria antes do pico das vazões. Esse não é, entretanto, um fenômeno consistente, conforme mostrado em estudos. Segundo Porto (1995), o fato dessa carga de lavagem, às vezes, ocorrer e outras, não, pode estar relacionado às perdas iniciais no escoamento superficial. É mais freqüente observar-se o fenômeno da carga de lavagem em bacias pequenas do que em bacia maiores. Em grandes bacias, as concentrações de poluentes não decrescem rapidamente, à medida que o volume de escoamento aumenta, porque áreas distantes podem estar produzindo altos valores de concentração nas suas descargas iniciais, que se misturam aos valores já decrescentes dos locais próximos à seção de medição. A verificação local da ocorrência ou não da carga de lavagem torna-se importante nos casos em que se pretende reter o escoamento superficial para o controle de carga poluidora a ser lançada no corpo receptor. Caso a carga de lavagem se verifique, 80% da carga poluidora estará contida no volume inicial, correspondente a 20% do volume total. Se não houver dados locais que confirmem a ocorrência da carga de lavagem, é mais seguro admitir-se que tal fenômeno não ocorre. Nesse sentido, Bertrad-Krajewski *et al.* (1998) propõem definir o fenômeno de primeira lavagem quando, em um evento, 80% ou mais da massa de poluente é transportada nos primeiros 30% do volume drenado.

3.5.7 Deflúvio sólido médio

O deflúvio sólido médio de um ano, ou de um período de vários anos, é um dos parâmetros mais necessários em estudos sedimentológicos. Segundo Carvalho (1994), o método corriqueiro e mais preciso para cálculo do deflúvio sólido médio consiste em usar a curva de duração ou de permanência do curso d'água. Esse método é recomendado e usado pelo USGS e várias entidades. Consiste, em primeiro lugar, em se traçar a curva de duração do curso d'água para o ano que se quer calcular o deflúvio sólido médio. Usam-se os dados fluviométricos disponíveis, com descargas médias diárias ou mensais anuais. Traça-se, também, a curva-chave de sedimentos com as medições eventuais do período. Em seguida, prepara-se o cálculo a partir das vazões obtidas na curva de permanência.

O deflúvio sólido calculado a partir de dados de vazões mensais, certamente resulta em valor médio menor do que o verdadeiro. Isso é devido ao fato de a descarga sólida ser muito influenciada pelos valores de vazões máximas, quando grande quantidade de sedimentos é transportada para os cursos d'água. Para valores mais exatos do deflúvio sólido médio, convém calcular a partir de vazões médias diárias. Neste estudo, foi possível obter as vazões de intervalos de 30 minutos, através das cotas registradas pelo linígrafo e correspondente determinação da vazão pela curva-chave desenvolvida.

A curva-chave, ou a curva cota-vazão, mostra a mudança da cota em relação a vazão. Em canais com leito rochoso, esta relação é única e bem definida. Em grandes rios aluvionais, esta curva pode modificar ao longo do tempo devido à combinação de alguns processos tais como agradação ou degradação do leito, mudanças na configuração da forma do fundo, efeitos da vazão de subida e descida da dinâmica de enchentes (Julien, 2002). A mobilidade do leito que se manifesta, sobretudo, no fundo, é um fenômeno freqüente. Ela é ligada à natureza do fundo e pode ser muito importante. Essa é a maior causa de alteração da curva-chave (Tucci, 2001).

Geralmente, existem disponíveis dados adequados de descarga líquida em uma dada seção, mas o registro de sedimento é muito pequeno ou inexistente. A aplicação da curva de permanência e da curva de sedimentos fornece resultados razoáveis em muitas circunstâncias, porém deve ser sempre aplicada com muita parcimônia (Vanoni, 1977). Mesmo com curtos períodos de descarga líquida, esse método pode ser aplicado por extrapolação pela correlação com outras informações disponíveis.

A comparação dos valores da produção de sedimentos em diferentes bacias hidrográficas pode ser feita através da figura 3.12, dispondo-se os resultados em relação à área de drenagem e confrontando com a linha média da pesquisa realizada por Khosla *apud* Carvalho (1994) em 200 bacias hidrográficas dos EUA.

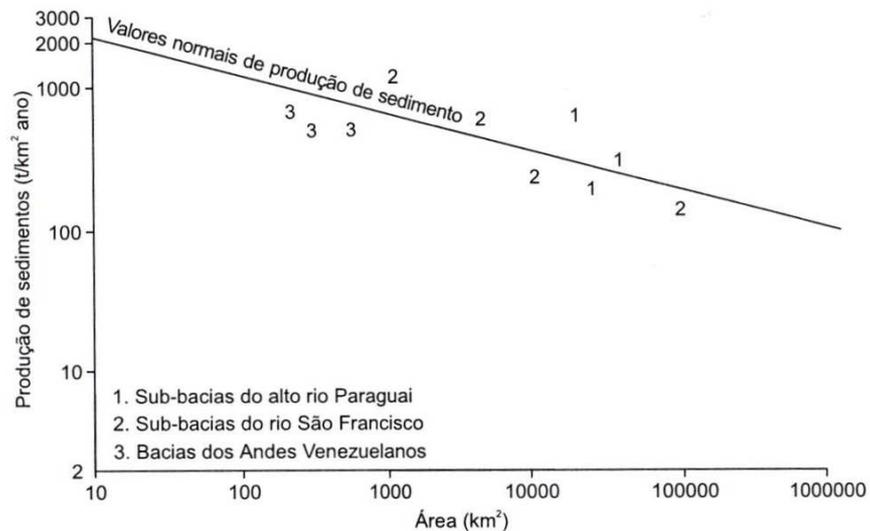


FIGURA 3.12 – Relação entre a área de drenagem e a produção específica de sedimentos, para algumas bacias e sub-bacias.

Fonte: Modificado de Carvalho (1994)

3.5.8 Produção específica de sedimentos

Produção específica de sedimentos é a relação entre o deflúvio sólido anual e a área de drenagem da bacia contribuinte, sendo expressa em $t/(km^2 \cdot ano)$. A produção de sedimentos é muito variável em cada bacia e mesmo nas bacias tributárias, o que se deve aos diversos fatores intervenientes.

Segundo Mahmood (1987) *apud* Carvalho (1994), a produção de sedimentos média em suspensão no mundo é igual a $165t/(km^2 \cdot ano)$. Levando-se em conta a carga em suspensão não-medida e a carga do leito, este pesquisador considerou um acréscimo de 15% em relação à descarga em suspensão medida. Assim, totaliza para a carga em suspensão não-medida e de fundo igual a $190t/(km^2 \cdot ano)$. Esses valores resultaram em uma concentração média para o ano de 1987 de 500ppm.

O estudo das condições sedimentológicas dos principais rios brasileiros efetuado pela Eletrobras (1991) *apud* Carvalho (1994) resultou na divisão do país em zonas

hidrossedimentológicas, a partir da interpretação dos dados. O mapa da figura 3.13 apresenta esse zoneamento. Na classificação da zona 00, encontra-se a bacia em estudo, com precipitação anual entre 1250 e 2000mm, erodibilidade do solo média, altitude variando entre 200 e 800m cobertura vegetal predominante de cerrado, concentração média anual de sedimento em suspensão de 260mg/L e produção específica média variando entre 100 e 150t/(km².ano).

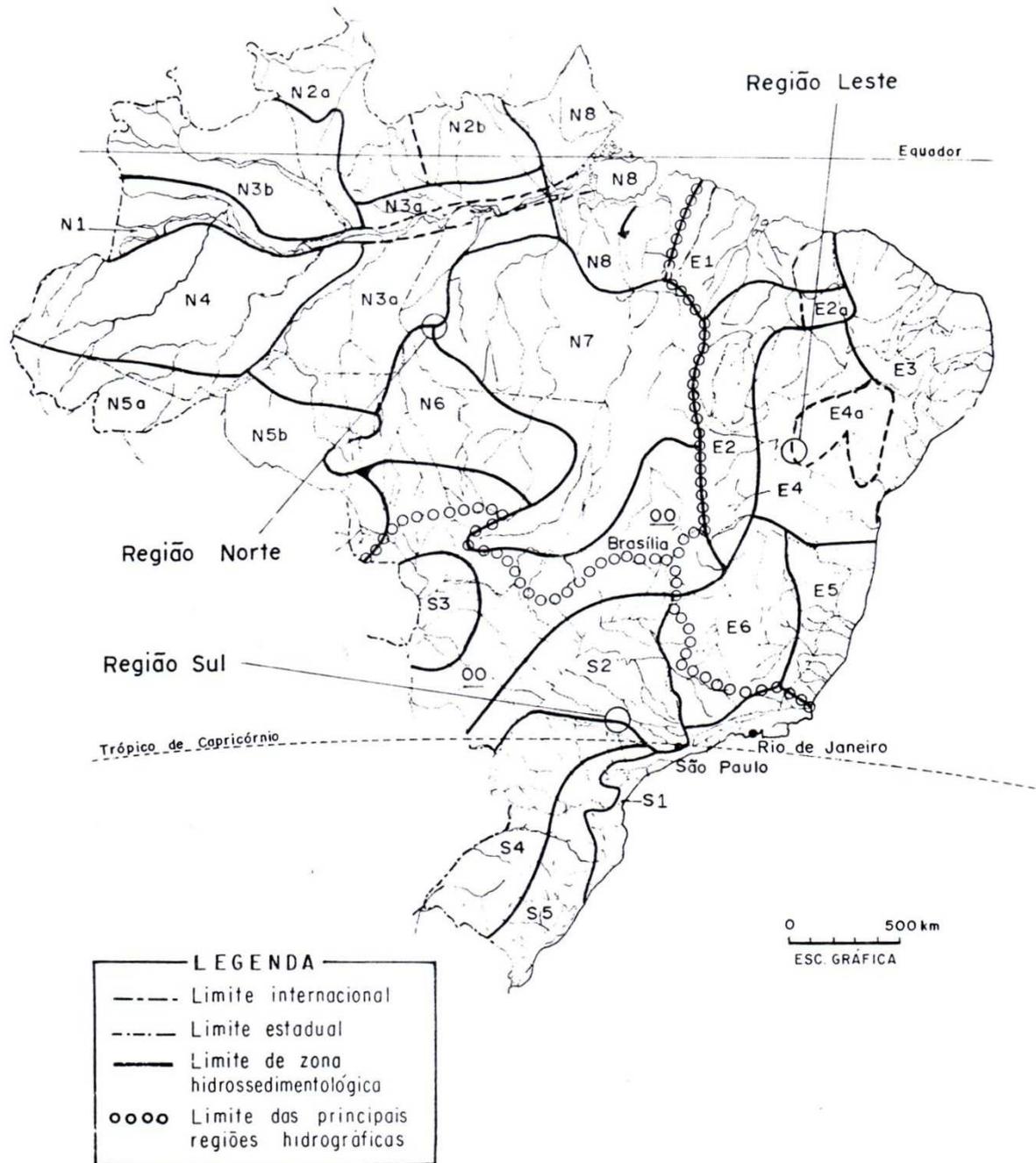


FIGURA 3.13 – Zoneamento hidrossedimentológico do Brasil.

Fonte: Eletrobras (1991) *apud* Carvalho (1994)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi dividido em duas etapas sendo os trabalhos de campo (reconhecimento dos locais e seções de estudo *in loco*, instalação de equipamentos, medições e coletas de amostras) e de escritório (compilação e tratamento de dados, aplicação em modelos computacionais).

4.1 Região de estudo

Na Bacia do Taquarizinho, encontram-se duas estações de monitoramento da ANA denominadas de “Próximo Rio Verde”, as quais estão providas de registros de dados hidrológicos de interesse: i) estação pluviométrica (código 1854002) e; ii) estação fluviométrica (código 66865000), com histórico de informações hidrológicas disponibilizadas no endereço eletrônico da Hidroweb (2007). A estação fluviométrica monitora dados de deflúvio cobrindo uma área de drenagem de 494,7km², ou seja, 33,4% do total da bacia de, aproximadamente, 1480km² (Hidroweb, 2007; Paranhos Filho, 2000). A figura 4.1 apresenta a localização da área de drenagem deste estudo na Bacia do Taquarizinho, a Bacia do Taquari, e o estado do Mato Grosso do Sul, Brasil.

Os dados históricos fluviométricos disponibilizados nas estações são: cota linimétrica, através da observação de réguas linimétricas, vazão e batimetria da seção realizadas pela CPRM, efetuados de 1984 a 2006. A estação pluviométrica consiste na observação de um pluviômetro hidrológico tipo “Ville de Paris”. Ambas as estações estão localizadas na zona rural, próximas à cidade de Rio Verde de Mato Grosso (aproximadamente 5km).

4.2 Acompanhamento da cota linimétrica

Em casos de variações rápidas de nível do rio, aparelhos registradores contínuos, denominados linígrafos são ideais para maiores precisões do comportamento fluviométrico. Existem vários tipos de linígrafos: 1) de bóia; 2) por pressão de bolhas; 3) com transdutor eletrônico de pressão, entre outros. O linígrafo empregado foi o de transdutor de pressão. Este

grava os valores dos níveis em arquivo magnético, espaçados em períodos pré-determinados, por meio de um armazenador de dados (*datalogger*), onde os registros são facilmente transferidos para um computador local ou remotamente via satélite. O linígrafo utilizado neste estudo foi o modelo WL15X - *Global Water*.

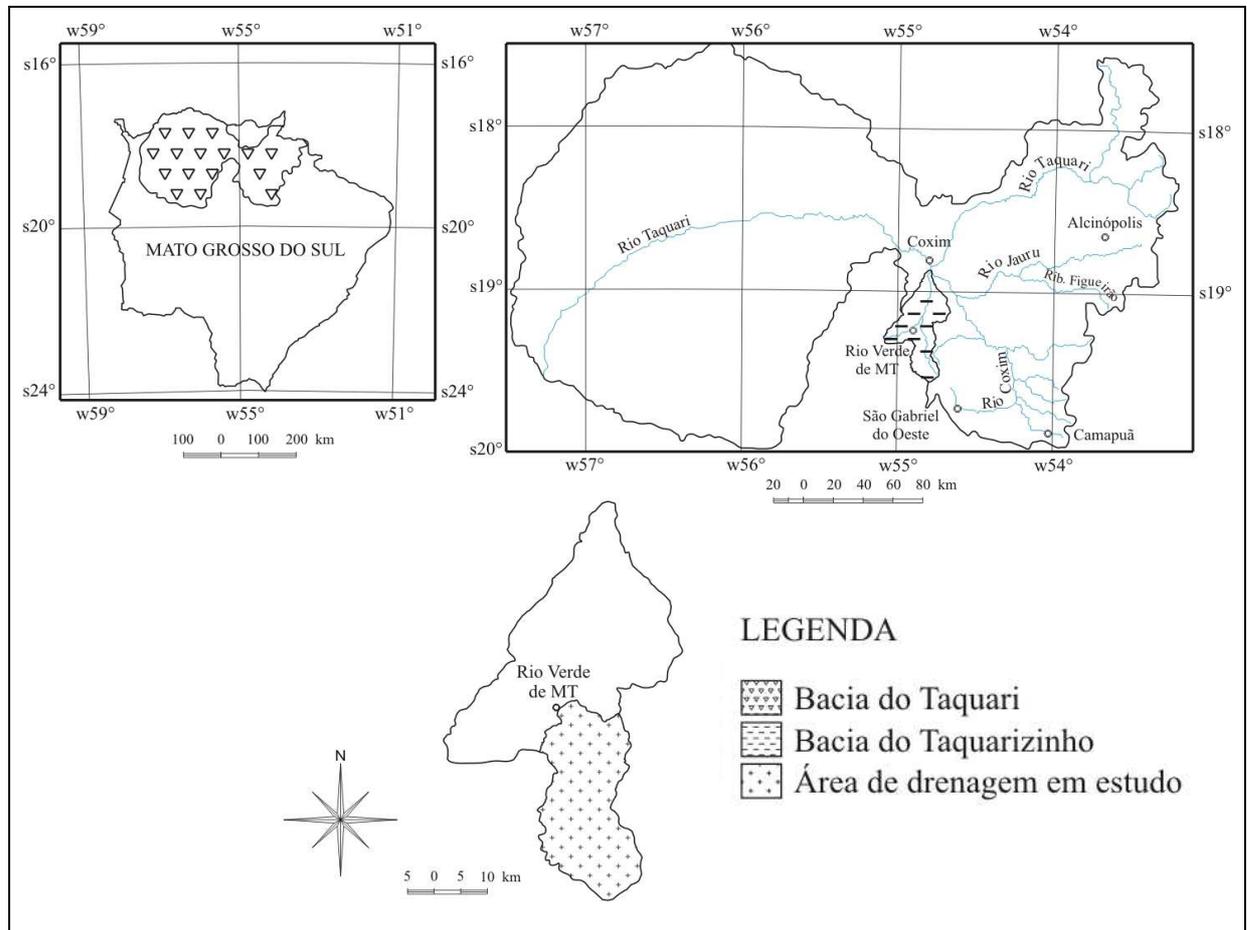


FIGURA 4.1 – Bacia do Taquari e localização da Bacia do Taquarizinho.

Fonte: Modificado de Abdon (2004) e Paranhos Filho (2000).

A sonda do linígrafo é fixada em um ponto dentro do fluxo do rio, protegida por uma tubulação, de modo que não sofra interferência de pressão devido às velocidades do escoamento e permita a correta aferição do nível. A altura da lâmina de água registrada pelo linígrafo é comparada com a observação da cota linimétrica da régua já instalada na seção de monitoramento, o que permite a calibração das cotas armazenadas.

O intervalo de tempo adotado para os registros das cotas foi de 30 minutos. Este período foi estabelecido visto que os menores eventos chuvosos, em geral, duram aproximadamente 30 horas, desde o início da subida do nível do rio até seu retorno ao nível

de base. Assim, há quantidade suficiente de registros no evento para se calcular a vazão pela curva-chave. Outro importante motivo é a capacidade de armazenamento do registrador do linígrafo. O modelo empregado registra até 6.000 dados, o que resulta em 3.000 horas contínuas, aproximadamente 4 meses. Antes do término deste período, tem-se que efetuar a transferência dos dados armazenados.

4.3 Determinação da descarga líquida

A medição convencional de vazão consiste em determinar a área da seção e a velocidade média do fluxo que passa nesta seção. A área é determinada por meio da medição da largura do rio e da profundidade em um número adequado de pontos ao longo da seção, chamados de verticais, nas quais também é realizada a medição da velocidade com molinete hidrométrico, modelo A. OTT - 15973, em diferentes profundidades, que irão originar a velocidade média na vertical. Para se determinar a quantidade de verticais que uma dada seção deverá conter, utiliza-se as recomendações apresentadas pelo Dnaee (1967) *apud* Santos *et al.* (2001). Estas devem ser vistas como ordem de grandeza, já que para estudos mais detalhados do perfil transversal, pode-se diminuir o espaçamento entre as verticais. Normalmente, espera-se que haja em torno de 20 verticais por seção, resultando em valores confiáveis da vazão medida, qualquer que seja a largura do rio (Lobo, 1997).

Determina-se a velocidade média na vertical por meio de métodos analíticos, ou seja, fórmulas recomendadas em função da profundidade da vertical, denominado de método detalhado (Dnaee, 1977 *apud* Santos *et al.*, 2001). O método empregado de cálculo da medição será o método da meia seção.

Como resultado da medição da descarga líquida, são obtidas algumas grandezas (geométricas e referentes ao escoamento): área molhada; perímetro molhado; raio hidráulico; profundidade média; largura superficial; profundidade máxima; cota linimétrica; ponto inicial e ponto final da seção transversal; velocidade média; vazão total; e vazão unitária.

4.4 Curva-chave da seção de estudo

O ajuste aos dados de cota e vazão medidos e os dados disponibilizados pela Hidroweb (2007) foi feito utilizando o método da extrapolação logarítmica conforme descrito em Santos *et al.*, 2001, por meio da eq.(4.1).

$$Q = a(h - h_0)^n \quad (4.1)$$

Onde:

Q – descarga líquida, em um dado instante;

h – nível do curso d'água;

h_0 – nível para o qual a vazão é nula;

a e n – parâmetros de ajuste específicos para o local.

Segundo Santos *et al.* (2001), este método provavelmente é a técnica mais utilizada no Brasil, para extrapolar somente a parte alta das curvas de descarga. O método baseia-se na hipótese de que, a partir de um dado nível, a curva de descarga é representada pela eq.(4.1).

Uma vez determinada a relação cota-vazão, é possível estimar a vazão através das alturas linimétricas obtidas dos registros do linígrafo instalado.

4.5 Previsão das precipitações

A execução desta pesquisa baseia-se na ocorrência de eventos chuvosos. Por ser uma bacia rural, considerável parcela da precipitação não alcança, por escoamento, a rede de drenagem. As precipitações de maiores magnitudes são mais propícias a gerar escoamento superficial, as quais são de alta intensidade, possivelmente tempestuosas e, normalmente, de origem convectiva. Devido à aleatoriedade de uma precipitação favorável, foram utilizados, neste estudo, modelos de previsão climática.

A previsão de chuva foi baseada em meteogramas disponíveis no endereço eletrônico do Cptec/Inpe (2005) e na observação da formação de nuvens em campo, diante da possível iminência de precipitação. O modelo de previsão adotado foi o Global T126L28, para 15 dias, conforme a figura 4.2. O primeiro quadro desta figura indica a data e a quantidade prevista de

chuvas A previsão foi monitorada para as seguintes localidades: Rio Verde de Mato Grosso (MS); Prox01: Rio Verde de Mato Grosso (MS); Coxim (MS); e Camapuã (MS).

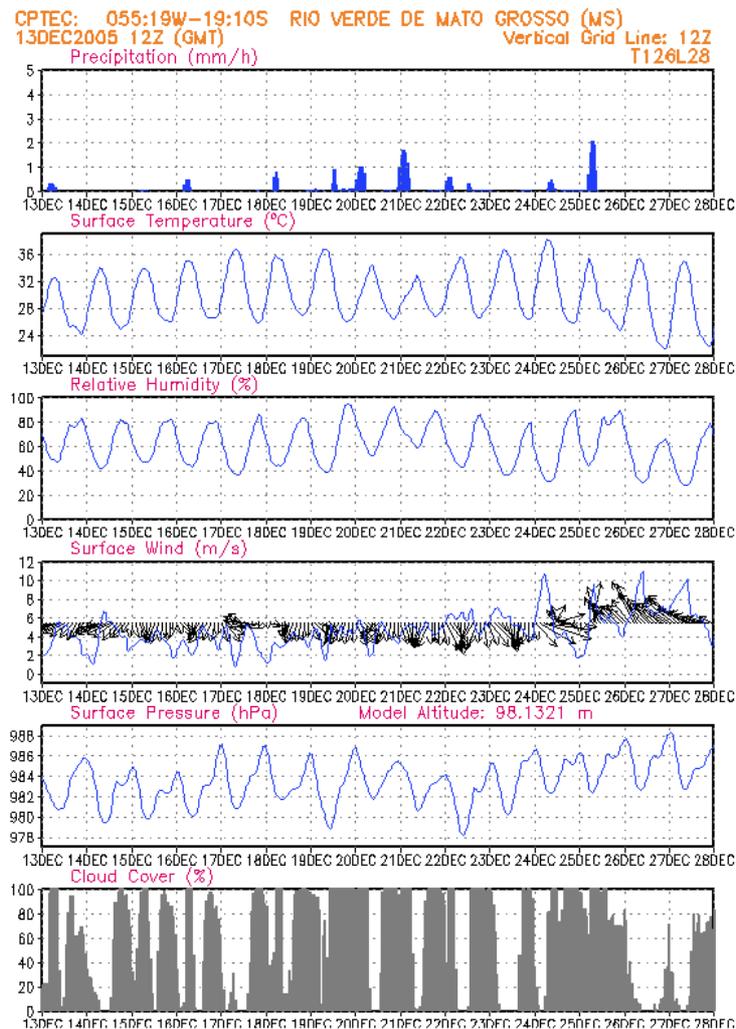


FIGURA 4.2 – Exemplo de um meteograma.

Fonte: Cptec/Inpe (2005)

4.6 Coleta de amostras de sedimento

4.6.1 Amostragem de sedimentos em suspensão

A medição indireta da concentração é feita com uso de equipamentos que coletam amostra para análise em laboratório (Carvalho, 1994). As amostras coletadas, em um evento chuvoso, para medida da descarga sólida em suspensão contêm as cargas de sedimento dissolvido e em suspensão transportadas pelo rio. Essas amostras devem ser obtidas de forma a representar a média em toda a seção transversal, quanto à concentração e à granulometria.

Se o sedimento em suspenso fosse uniformemente distribuído na seção, uma amostra em qualquer ponto poderia representar a concentração. No entanto, devido às limitações de amostragem em campo quanto à rápida variação de nível do rio e à disponibilidade de equipamento de amostragem, utilizou-se o amostrador instantâneo tipo Van Dorn de fechamento rápido. Além destes fatores limitantes, menciona-se a dificuldade de se amostrar em períodos noturnos. O amostrador adotado proporciona uma amostragem segura e ágil, o que possibilita uma série de amostragem completa do evento em questão. Ao acioná-lo, acondiciona-se a amostra de aproximadamente 2 litros dentro de sua câmara cilíndrica, colocado paralelamente ao fluxo principal, coletando-se a uma profundidade de 50cm da superfície da água, preferencialmente na vertical de maior velocidade determinada em águas baixas, onde espera-se encontrar as maiores turbulências e conseqüentemente maior homogeneidade da amostra. Quando o nível apresentava-se igual ou abaixo de 50cm, as amostras foram coletadas na profundidade média do rio.

De acordo com as normas da WMO (1981) *apud* Carvalho (1994), os volumes necessários para a determinação da concentração em suspensão, em função da concentração esperada no momento da amostragem estão apresentados na tabela 4.1. Neste estudo, todas as amostras foram coletadas com o volume do amostrador, ou seja, dois litros.

TABELA 4.1 – Volume de amostra em relação à concentração de sedimento em suspensão.

Concentração esperada de sedimento em suspensão (ppm)	Volume da amostra (litros)
> 100	1
50 a 100	2
20 a 50	5
< 20	10

Fonte: Carvalho (1994)

Para a determinação dos pontos de amostragem temporalmente distribuídos ao longo do evento, o presente estudo baseou-se no linigrama da figura 4.3. O ponto 01 apresenta um nível que caracteriza fluxo de base na iminência da passagem da onda de cheia proveniente do escoamento superficial de uma dada precipitação a montante da seção. Com os pontos 02, 03 e 04, será possível calcular a taxa de variação do nível. A fim de se efetuar coletas de água na curva ascendente do linigrama, é realizado amostragens quando o nível se elevar de 50 em 50cm, em relação à cota apresentada em fluxo de base. Propõe-se, também, uma amostragem

no pico do linigrama (ponto 05). O pico do linigrama pode ser determinado quando o nível praticamente se estabilizar.

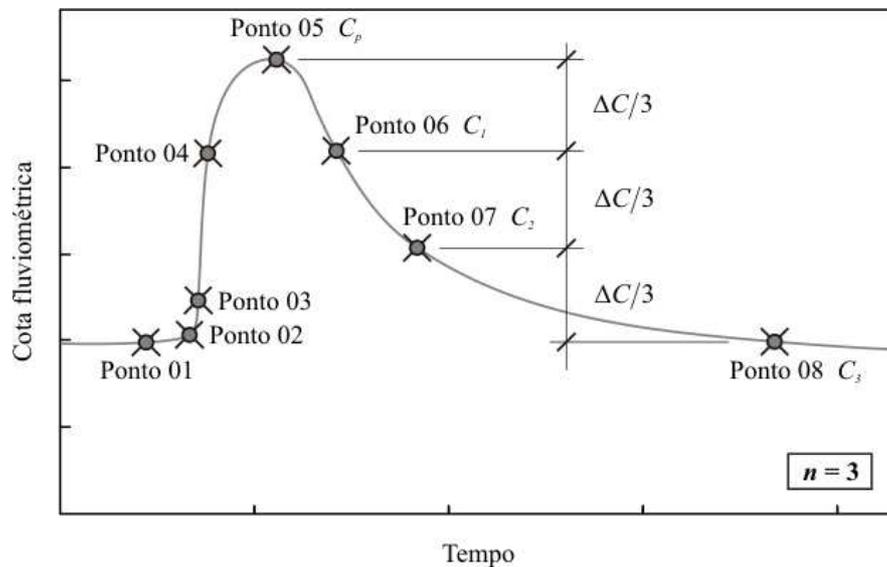


FIGURA 4.3 – Linigrama e pontos de amostragem.

Para determinar os pontos de coleta na curva de recessão do escoamento superficial direto, determina-se, *a priori*, o número de coletas (n) conforme o interesse do estudo. Calcula-se a diferença ΔC entre a cota de pico (C_p) (ponto 05) e de base (C_b) (ponto 01), conforme a eq.(4.2).

$$\Delta C = C_p - C_b \quad (4.2)$$

A cota das coletas C_i durante a curva de recessão do escoamento é proposta pela eq.(4.3):

$$C_i = C_p - \left(\frac{\Delta C}{n} \right) \cdot i, \quad \text{onde } i \text{ varia de } 1 \text{ a } n \quad (4.3)$$

Os pontos 06, 07 e 08, por exemplo, possuem respectivamente cotas C_i , C_{i+1} , C_{i+2} , para n igual 3. Quando o valor i for igual a n , a cota C_i terá valor igual a C_b .

O presente estudo definiu o valor n igual a 2, porém, em alguns eventos, foram empregados valores diferentes a este, por motivo de variação da curva de recessão e por experimentação para a observação de melhores resultados.

4.6.2 Amostragem de material do leito

As informações do material do leito, principalmente sua natureza e granulometria são necessárias para a aplicação de muitas das fórmulas de cálculo da descarga sólida por arraste. As informações do material do leito são recolhidas por meio de coleta de amostras. A disponibilidade de dois diferentes equipamentos utilizados em distintos meios de coleta: o amostrador de penetração horizontal, do tipo caçamba (Rock-Island); e o amostrador BLM-84, de medição direta da descarga de fundo.

O amostrador Rock-Island, de penetração horizontal, do tipo caçamba de dragagem, consiste em um cilindro fechado numa extremidade e com uma corrente presa nas bordas mais externas do cilindro. Seu peso e dimensões favorecem a caçamba de remoção a ficar na posição horizontal, coletando uma camada de quase 5cm do material do leito. O amostrador é operado manualmente. Pesa cerca de 7kg e tem comprimento de 55cm. Geralmente, amostra-se com igual incremento de largura, fazendo-se no mínimo três verticais. Neste estudo, serão adotadas verticais a 1/4, 1/2 e 3/4 da largura da seção transversal. As subamostras são acondicionadas individualmente em sacos plásticos e etiquetadas adequadamente. Estas devem ter aproximadamente a mesma quantidade de material, e em quantidade suficiente, ou seja, no mínimo 2kg de material úmido, para se realizar a posterior análise granulométrica.

O amostrador BLM-84 é uma adaptação do amostrador Helley-Smith, que consiste de peças conjugadas fabricadas em chapa de alumínio, sendo a frente um paralelepípedo de (3" x 3") soldado a um tronco de pirâmide com razão de expansão de 1,4. Na parte posterior deste é ajustado uma saca fabricada com tela de malha número 270, que retém o sedimento grosso. Ao fundo da malha, é instalado um tubo de aço galvanizado, sendo que no lado da malha, esta é fixada por meio de uma abraçadeira metálica. Do lado oposto, o tubo apresenta uma rosca, na qual é vedada com um tampão sextavado, por onde é efetuada a retirada da amostrada coletada. É operado com a haste que fica ajustada no topo. Foi desenvolvido para uso em medições diretas a vau, e será utilizado nas medições das descargas de sedimentos de fundo. O amostrador deve ficar apoiado no leito de 2 minutos a 2 horas, de tal sorte que receba, em sua malha receptora, de 30 a 50% de sua capacidade de armazenamento (Carvalho *et al.*, 2000a). O tempo de amostragem será definido no momento da coleta, através da observação da velocidade do fluxo ou de amostragem preliminar que atenda a condição de captura de sedimentos.

4.7 Análises de laboratório

As análises de laboratório foram divididas em dois tipos, conforme as coletas realizadas em campo: a amostra de sedimentos coletada em suspensão e o material do leito. Devido às diferenças de diâmetros das partículas dos sedimentos em cada tipo de amostra e à quantidade disponível em cada uma, serão necessários dois diferentes procedimentos de análise: um para os sedimentos mais finos e outro para sedimentos mais grossos. O sedimento contido em uma amostra em suspensão é de pequena quantidade, de granulometria fina e abundante em água, enquanto que a amostra de leito é de granulometria e quantidades maiores, com poucos líquidos (Carvalho, 1994).

Neste estudo, considerando as disponibilidades de equipamentos, de análise laboratorial e as condições observadas em amostras preliminares em campo, utilizou-se o método de evaporação (para sedimentos mais finos) e o método de peneiramento (para sedimentos mais grossos).

4.7.1 Amostras de sedimentos em suspensão

O método de análise dos sedimentos em suspensão foi o preconizado pelo *Standard methods for the examination of water and wastewater*, editado pelo APHA/AWWA/WEF (2005), cujo resultado final fornecerá a concentração do material em suspensão e dissolvidos na mistura (tabela 4.2).

TABELA 4.2 – Lista de parâmetros físicos.

Parâmetros	Unidades	Técnica analítica
Sólidos totais	mg/L ST	Standard Methods - Método 2540 B
Sólidos suspensos totais	mg/L SST	Standard Methods - Método 2540 D
Sólidos dissolvidos totais	mg/L SDT	Standard Methods - Método 2540 D

Optou-se por esta metodologia de análise pela rapidez da obtenção dos resultados e possibilidade de comparação e aplicação em estudos posteriores.

4.7.2 Amostras de material do leito – ensaio de peneiramento

Este método utiliza uma série de peneiras-padrão agitadas mecanicamente e por tempo determinado (10 minutos) em aparelhos agitadores do tipo RO-TAP ou mecânico semi-

automático. Para a execução, separaram-se as peneiras descritas na tabela 4.3, com suas respectivas aberturas. Toma-se, a amostra completa obtida em campo, a qual está acondicionada em saco plástico resistente. Após prévia secagem ao ambiente, a amostra é secada completamente em estufa à temperatura de 105°C, por um período de 24 horas. Terminada a secagem, a amostra é homogeneizada e em seguida quarteada, a fim de obter uma subamostra representativa de aproximadamente 100g de material seco. Caso haja presença de matéria orgânica (folhas, troncos, e outros), efetua-se sua retirada por meio de pinça serrilhada. A seguir, procede-se ao peneiramento mecânico. O material retido em cada peneira é pesado e anotado. Faz-se, em seguida, a curva granulométrica, tendo como ordenadas as porcentagens de sedimentos mais finos que passam, e como abscissas, os diâmetros das peneiras padronizadas (Carvalho, 1994).

TABELA 4.3 – Ensaio de peneiramento – peneiras utilizadas e suas aberturas.

Padrão ABNT / USBS	Padrão Tyler	Abertura da malha (mm)
4	4	4,76
10	9	2,00
16	14	1,19
30	28	0,59
40	35	0,42
50	48	0,297
100	100	0,149
200	200	0,074

4.7.3 Classificação granulométrica

Para a classificação granulométrica do material amostrado, são válidas as tabelas organizadas, por diferentes entidades, desde que devidamente especificadas (Carvalho, 1994). Pelo seu cunho internacional, é recomendada a tabela 4.4 da *American Geophysical Union* (AGU). Além disso, muitos trabalhos utilizam esta classificação devido ao emprego de fórmulas e programas desenvolvidos no sistema de unidades inglesas.

4.8 Determinação da descarga sólida

Para se determinar a quantidade de sedimentos que passa em uma dada seção transversal por unidade de tempo, é necessário dividi-la em dois diferentes tipos de práticas: (1) medição de descarga sólida em suspensão; (2) medição de descarga sólida do leito.

TABELA 4.4 – Classificação granulométrica da *American Geophysical Union*.

Diâmetro (em milímetros)	Denominações
64 – 32	Cascalho muito grosso
32 – 16	Cascalho grosso
16 – 8	Cascalho médio
8 – 4	Cascalho fino
4 – 2	Cascalho muito fino
2,00 – 1,00	Areia muito grossa
1,00 – 0,50	Areia grossa
0,50 – 0,25	Areia média
0,25 – 0,125	Areia fina
0,125 – 0,0625	Areia muito fina
0,0625 – 0,031	Silte grosso
0,031 – 0,016	Silte médio
0,016 – 0,008	Silte fino
0,008 – 0,004	Silte muito fino
0,004 – 0,0020	Argila grossa
0,0020 – 0,0010	Argila média
0,0010 – 0,0005	Argila fina
0,0005 – 0,00024	Argila muito fina
< 0,00024	Colóide

Fonte: Carvalho (2000b)

A descarga sólida total é composta de todo transporte de sedimento que ocorre em uma dada seção, incluindo a descarga sólida em suspensão e a do leito. Para seu cálculo, é necessário obter a descarga sólida em suspensão (da zona amostrada), a descarga sólida do leito (carga de arraste e saltante) e a estimativa do transporte de sedimento da zona não-amostrada (fórmulas de correção).

Para efeito de estimativas, considera-se, neste estudo, que a concentração da amostra em suspensão coletada e analisada representa a média encontrada na seção, naquele instante.

4.8.1 Cálculo da descarga sólida em suspensão

O cálculo da descarga sólida em suspensão Q_{ss} é feito pela multiplicação da descarga líquida pela concentração, sendo expressa em t/dia, após um fator multiplicativo de correção de unidades (Carvalho *et al.*, 2000a). Como se tem a concentração obtida através de uma única amostragem pontual, tem-se a eq.(4.4):

$$Q_{ss} = 0,0864 \cdot Q \cdot C_s \quad (4.4)$$

Onde:

Q_{ss} – descarga sólida em suspensão, em t/dia;

Q – descarga líquida, em m³/s;

C_s – concentração em suspensão da amostragem pontual, em mg/L.

4.8.2 Cálculo da descarga sólida do leito

Na medição direta através do amostrador BLM-84, o sedimento seco é determinado em laboratório, para um certo tempo de amostragem, resultando em uma descarga sólida, num dado ponto. O tempo de amostragem é escolhido de modo que o recipiente (neste caso, a bolsa da malha) fique no máximo com 50% de sua capacidade de armazenamento. O sedimento recolhido no amostrador é transferido a um saco plástico e tem seu peso seco determinado em laboratório. Estas amostras são analisadas objetivando-se a determinação de suas características granulométricas. O método do peneiramento foi utilizado para a granulometria do material de fundo, pois neste estudo, espera-se encontrar areias de vários diâmetros. Esta análise deve contemplar toda a amostra que ingresse ao laboratório, não devendo ser repartida ou reduzida a uma subamostra, por suposta homogeneização (Carvalho *et al.*, 2000a).

Calcula-se a descarga do leito pela eq.(4.5) (Carvalho *et al.*, 2000a):

$$Q_b = \frac{86,4}{E_r} \left(\frac{q_{b1}}{2} l_1 + \frac{q_{b1} + q_{b2}}{2} l_2 + \dots + \frac{q_{bn-1} + q_{bn}}{2} l_{n-1} + \frac{q_{bn}}{2} l_n \right) \quad (4.5)$$

Onde:

Q_b – descarga sólida do leito na seção transversal, em t/dia;

q_b – descarga sólida do leito parcial, obtida do peso seco dividido pelo tempo de amostragem e pela largura do bocal do amostrador, em kg/(s.m);

l – distância entre os pontos medidos, em metros;

E_r – eficiência de amostragem do equipamento.

Neste tipo de medição, tem-se que considerar na fórmula a eficiência de retenção do equipamento, valor esse determinado em laboratório. Estudos indicam que este valor pode

variar de 0,40 a 1,00, o que altera o valor de Q_b de 1,00 a 2,50 vezes. Como não houve determinação em laboratório da eficiência do amostrador utilizado, foi considerado o valor superior do intervalo, ou seja, de 1,00, a fim de não majorar o valor da descarga do leito.

Considerando que sejam disponíveis somente dados de sedimentos em suspensão, procura-se arbitrar o valor da descarga não-medida, principalmente para se obter a descarga total necessária à avaliação do assoreamento de reservatórios. No Brasil, é comum arbitrar esse valor como sendo 10%, enquanto há países cujos serviços arbitram até 30% da descarga em suspensão. Icold (1989) *apud* Carvalho *et al.* (2000) apresenta um sugestão para escolha do método de obtenção da descarga do leito em função do material do leito e das porcentagens de areia existentes na amostra em suspensão (tabela 4.5). Neste estudo, espera-se avaliar através da amostragem, a relação percentual entre o material do leito e aquele em suspensão, para se verificar o enquadramento ora proposto.

TABELA 4.5 – Estimativa da porcentagem de material do leito em relação à carga em suspensão, por meio de parâmetros sedimentométricos.

Condição	Concentração de sedimento em suspensão (mg/L)	Material do leito	Granulometria do material do leito	% de carga do leito em relação à carga em suspensão
1 ⁽¹⁾	< 1000	Areia	20 a 50% de areia	25 a 150
2 ⁽¹⁾	1000 a 7500	Areia	20 a 50% de areia	10 a 35
3	> 7500	Areia	20 a 50% de areia	5
4 ⁽²⁾	Qualquer concentração	Argila compactada, pedregulho, pedras roladas ou pedras	Qualquer quantidade até 25% de areia	5 a 15
5	Qualquer concentração	Argila e silte	Nenhuma areia	< 2

⁽¹⁾ Especiais amostragens para cálculos pelo método modificado de Einstein são necessárias para essa condição.

⁽²⁾ Um programa de medições diretas com um amostrador Helley-Smith, ou outro medidor, ou mesmo o uso das fórmulas para material grosso.

Fonte: Carvalho (2000a)

4.8.3 Determinação da descarga sólida total

A descarga sólida total aproximada pode ser obtida da soma da descarga em suspensão com a do material do leito, apesar deste procedimento ser questionado devido à imprecisão apresentada pela zona não-amostrada (Carvalho *et al.*, 2000a). Como este estudo adota a consideração de que a amostra em suspensão representa a concentração média em suspensão e, além disso, estima a descarga do material de fundo, adota-se os métodos baseados na

quantificação, ou seja, na soma da carga medida (em suspensão) acrescida da carga não medida (material do leito e saltitante).

4.8.4 Curva granulométrica

Na curva granulométrica de material do leito, devem ser assinaladas as porcentagens de diâmetros característicos para 5, 10, 16, 35, 50, 65, 84, 90 e 95%, que são valores utilizados em diversos estudos e principalmente em cálculos de descarga sólida (Carvalho, 2000b).

Inman (1952) *apud* Chien & Wan (1999) estabeleceu os diâmetros médio (d_m) e mediano (d_{med}) para análise da distribuição granulométrica, descritas pelas eqs.(4.6) e (4.7).

$$d_m = d_{50} \quad (4.6)$$

$$d_{med} = \frac{1}{2}(d_{16} + d_{84}) \quad (4.7)$$

Segundo Yang (2003), o diâmetro médio geométrico (d_g) é a média geométrica de dois diâmetros correspondentes a 16% e 84% mais finos (d_{16} e d_{84} respectivamente), expressa na eq.(4.8).

$$d_g = (d_{16}d_{84})^{0,5} \quad (4.8)$$

A graduação da mistura de sedimentos pode ser descrita pelo desvio padrão geométrico (σ_g), dado pela eq.(4.9).

$$\sigma_g = \left(\frac{d_{84}}{d_{16}} \right)^{0,5} \quad (4.9)$$

O coeficiente de graduação (Gr) é definido pela eq.(4.10).

$$Gr = \frac{1}{2} \left(\frac{d_{84}}{d_{50}} + \frac{d_{50}}{d_{16}} \right) \quad (4.10)$$

Inman (1952) *apud* Vanoni (1977) propôs outras relações para melhor descrever a distribuição da granulometria do sedimento, avaliando a simetria e o achatamento, conforme as eqs.(4.11), (4.12) e (4.13).

$$Assimetria = \frac{\log\left(\frac{d_g}{d_{50}}\right)}{\log \sigma_g} \quad (4.11)$$

$$2^a \text{ Assimetria} = \frac{\log\left(\frac{\sqrt{d_{95}d_5}}{d_{50}}\right)}{\log \sigma_g} \quad (4.12)$$

$$Curtose = \frac{\log\sqrt{\frac{d_{16}d_{95}}{d_5d_{84}}}}{\log \sigma_g} \quad (4.13)$$

4.9 Estimativa do coeficiente de Manning

De posse do diâmetro característico d_{90} obtido na curva granulométrica das amostras de fundo, é possível estimar o valor do coeficiente de Manning proposto por Meyer-Peter & Müller (1948) *apud* Yang (2003). Estes autores desenvolveram estudos com uma mistura de areias de diversas granulometrias, tendo por base a formulação de Strickler desenvolvida em experimentos com areia uniforme. A eq.(4.14) pode ser usada para aproximar ao valor do coeficiente de Manning (n) quando o leito não é coberto por seixos.

$$n = \frac{d_{90}^{1/6}}{39} \quad (4.14)$$

Onde:

d_{90} – diâmetro do sedimento em metros para o qual 90% da mistura é mais fina.

A fim de efetuar a comparação dos resultados obtidos desta formulação, utiliza-se a tabela 4.6 desenvolvida por Chow (1959) que estipula os valores mais usuais, em função das características físicas observadas no trecho do rio em estudo.

TABELA 4.6 – Valores do coeficiente de rugosidade de Manning (*n*).

Tipo do canal e descrição	Mínimo	Normal	Máximo
<i>Rios naturais, com largura máxima em enchente inferior a 30m, canais em locais planos</i>			
1. Limpo, reto, cotas linimétricas altas, sem fendas ou poços profundos	0,025	0,030	0,033
2. Limpo, reto, cotas linimétricas altas, sem fendas ou poços profundos, com rochas e arbustos	0,030	0,035	0,040
3. Limpo, sinuoso, cotas linimétricas altas, com poços e baixios	0,033	0,040	0,045
4. Limpo, sinuoso, cotas linimétricas altas, com poços e baixios, com rochas e arbustos	0,035	0,045	0,050
5. Limpo, sinuoso, cotas linimétricas baixas, com poços e baixios, com rochas e arbustos, sem efeito de declividade e seção	0,040	0,048	0,055
6. Limpo, sinuoso, cotas linimétricas altas, com poços e baixios, com muitas rochas, sem efeito de declividade e seção, com muito rochas	0,045	0,050	0,060
7. Trecho de fluxo lento, arbustivo, com poços profundos	0,050	0,070	0,080
8. Trecho muito arbustivo, com poços profundos, ou áreas de inundação com muitas árvores e vegetação rasteira	0,075	0,100	0,150

Fonte: Chow (1959)

4.10 Concentração média do evento e curva acumulada adimensional

De posse do hidrograma e do polutograma correspondente a um mesmo evento e a um mesmo ponto de observação, pode-se calcular as cargas parciais e total do evento. Para calcular a concentração média do evento (CME) é necessário o conhecimento da carga total do poluente e do volume total escoado.

As funções reais $C(t)$ e $Q(t)$, descritas na eq.(3.1), na prática, não podem ser encontradas a cada instante dt . Entretanto, as integrais podem ser estimadas, por aproximação ao considerar valores discretos, através de amostragens de campo. Assim, pode-se expressá-la tal qual na eq.(4.15):

$$CME = \frac{\sum_{i=1}^n C_i Q_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \quad (4.15)$$

Onde:

n – número de amostras;

C_i – concentração discreta a cada tempo i ;

Q_i – deflúvio discreto a cada tempo i .

A aproximação da eq.(4.15) à eq.(3.1) será mais precisa quanto maior for o valor de n . Vale ressaltar que n está relacionado à viabilidade econômica do estudo.

Segundo Lee & Bang (2000), o fenômeno de primeira lavagem ocorre quando a massa acumulada adimensional de constituintes (L) for maior que o volume acumulado adimensional escoado (F), descrito pela eq.(4.16).

$$\frac{L}{F} = \frac{\frac{m(t)}{M_T}}{\frac{v(t)}{V_T}} > 1 \quad (4.16)$$

Onde:

$$m(t) = \int_0^t C(t)Q(t)dt \quad , \text{ massa transportada em um intervalo de } 0 \text{ a } t, \text{ para um tempo } t$$

menor que o tempo de duração do evento t_r ;

$$v(t) = \int_0^t Q(t)dt \quad , \text{ volume transportado em um intervalo de } 0 \text{ a } t, \text{ para um tempo } t \text{ menor}$$

que o tempo de duração do evento t_r .

Ao se calcular os parâmetros adimensionais L e F e dispor os resultados em gráfico, pode-se analisar o comportamento dos eventos quanto à ocorrência do fenômeno de primeira lavagem.

Neste estudo, as equações de massa e volume em função do tempo reais $C(t)$ e $Q(t)$, descritas na eq.(4.16) não podem ser encontradas a cada instante dt . Entretanto, as integrais podem ser estimadas, por aproximação ao considerar valores discretos.

Deste modo, nos intervalos entre cada amostragem realizada é calculado a concentração média do intervalo e totalizada a vazão líquida correspondente. Ao se multiplicar estes valores, têm-se a massa transportada em cada intervalo considerado.

Ao final do evento, totalizam-se os valores das massas acumuladas nos intervalos de amostragem e os respectivos volumes acumulados. Para cada intervalo totalizado, divide-se pelos volumes e massas totais do evento, resultando nas frações adimensionais respectivas.

Pode-se ainda estabelecer esta mesma curva acumulada adimensional de um modo distinto. Toma-se a curva-chave de sedimentos em suspensão ajustada para a seção em estudo e calcula-se a massa transportada para cada intervalo de tempo entre as medições de descarga líquida. Neste estudo, os intervalos de tempo são de 30 minutos, este adotado para a medição do nível do rio e, conseqüentemente, utilizado na determinação da vazão líquida (por meio da curva-chave). Assim, totaliza-se a massa acumulada nos intervalos e no evento, bem como o volume acumulados. Tomando-se os intervalos totalizados, divide-se pelos volumes e massas totais do evento, o que resulta nas frações adimensionais respectivas.

De posse dos dados, dispõe-se graficamente para a obtenção da curva acumulada de massa e vazão adimensionais e melhor visualização da evolução temporal do evento.

4.11 Variação do perfil transversal

Por meio dos dados disponibilizados pela Hidroweb (2007), especificamente no posto fluviométrico denominado “Próximo Rio Verde” (código 66865000), nos dados intitulados de *Perfil*, é possível efetuar uma análise da variação temporal dos registros batimétricos da seção em estudo. Estão disponíveis os dados no período compreendido entre 1995 e 2006. Além destes dados já existentes, foi efetuada algumas medições para se confrontar a variabilidade da seção geométrica e as configurações de fundo da calha.

4.12 Curvas de permanência

A curva de permanência apresenta a frequência com que ocorrem valores iguais ou superiores aos valores de uma série temporal. Para o traçado desta curva pode-se aplicar o procedimento descrito por Lanna (2001):

- ordenar a variável temporal em ordem decrescente, atribuindo ordem 1 ao maior valor e ordem n ao menor, em uma amostra de dados com tamanho n;

- computar a frequência (em porcentagem) com que cada valor ordenado é excedido ou igualado (permanência), fazendo-se $100\left(\frac{m}{n}\right)$, sendo m a ordem de cada valor e n o tamanho da amostra;

- dispor os valores em gráfico de eixos decimais, com a escala de permanência representada no eixo das abscissas.

Neste estudo, foram utilizados os dados históricos de cotas e vazões da seção fluviométrica, compreendendo o intervalo de 1984 a 2006, e os dados obtidos através das medições de campo.

4.13 Curva-chave de sedimentos

As curvas de transporte de sedimentos ou tendências serão obtidas dos dados resultantes das análises, dispondo em um gráfico a descarga sólida (Q_s) e a descarga líquida (Q) para cada amostra analisada. Segundo Carvalho (1994), a relação entre as descargas sólida e líquida é usualmente dada pela eq.(4.17).

$$Q_s = a \cdot Q^b \quad (4.17)$$

Onde:

Q_s – descarga sólida, em t/dia;

Q – descarga líquida, em m³/s;

a e b – valores adimensionais de ajuste dos dados.

Os dados assim dispostos são ajustados, por tratamento matemático computacional, a uma linha de tendência do tipo potência. É obtido também o valor do coeficiente de correlação R^2 dos dados.

4.14 Deflúvio sólido médio anual e produção específica

O cálculo do deflúvio sólido médio consiste em totalizar a descarga sólida média por faixas de valores de vazão, aplicando-se a frequência de ocorrência obtidas da curva de permanência, como peso para cada intervalo, correspondente ao período de interesse. A descarga sólida em suspensão é calculada por meio da curva-chave de sedimentos em suspensão da seção em estudo. O somatório do produto da porcentagem de permanência da vazão pela descarga sólida média resulta no valor do deflúvio.

Para efeito de comparação de resultados, utilizar-se-á a curva de permanência de vazão calculada a cada 30 minutos e a permanência diária calculada tomando-se as leituras de cota nos horários de 7:00 e 17:00h, resultantes da leitura registrada pelo linígrafo.

A estimativa do deflúvio sólido médio anual de arraste será efetuada pela multiplicação da média ponderada (para escoamento de base e para ocorrência do evento chuvoso) dos resultados da relação entre a descarga sólida de arraste e a em suspensão (Q_{sa}/Q_{ss} ponderada) e da descarga sólida em suspensão (Q_{ss}).

De modo bastante simplificado, separa-se o ano de interesse em duas porcentagens de permanência definida pela vazão líquida média anual. As vazões inferiores a vazão líquida média anual serão consideradas como sendo escoamento de base. As vazões que superarem a vazão média anual líquida serão consideradas integrantes de eventos de cheia.

Assim, toma-se o valor médio da Q_{sa}/Q_{ss} para escoamento de base e para o evento chuvoso e multiplica-se pela porcentagem total de permanência respectiva. A soma destes dois valores será a relação de descarga ponderada em função do tempo de permanência do período de interesse.

A produção específica de sedimentos é a relação entre o deflúvio sólido médio anual e a área de drenagem da bacia contribuinte, sendo expressa em $t/(km^2 \cdot ano)$.

4.15 Relação com o parâmetro turbidez

O parâmetro físico turbidez foi determinado pelo *Standard Methods* - Método 2130 B (APHA/AWWA/WEF, 2005) sendo expresso em UNT (unidade nefelométrica de turbidez).

Através de curvas de ajuste aos dados obtidos, propõe-se verificar se há relação entre o parâmetro turbidez e a concentração de sedimentos encontrados no rio, utilizando-se algumas equações de ajuste apresentadas na literatura e aqui compiladas na tabela 3.7.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Avaliação da bacia monitorada

A viagem de reconhecimento da bacia, efetuada no mês de abril de 2005, ao longo de diversos trechos do rio Taquarizinho, indicou a existência de diversas paisagens que compõe esta bacia, com diversos trechos sem preservação da mata ciliar. As cercanias da nascente do Rio Taquarizinho apresentam mata preservada, onde se formou um pequeno alagado, no qual inicia-se o filete de água (figura 5.1). Constatou-se que na porção mais alta da bacia, em um trecho montanhoso, existe uma queda d'água de aproximadamente 60 metros, conforme figura 5.2. Ao longo de todo o curso alto do rio, verifica-se a presença de diversas corredeiras e pequenas quedas de água, fato bem característico de bacias de planalto.



FIGURA 5.1 – Região alagadiça onde se encontra a nascente do Rio Taquarizinho.



FIGURA 5.2 – Queda d’água encontrada na região alta da bacia, com aproximadamente 60 metros de altura.

Por diversas vezes, pode-se constatar trechos com alta vulnerabilidade, por não apresentar vegetação nas margens junto ao rio, o que provavelmente acarreta o carreamento dos solos das margens e do interior das propriedades rurais, levando ao progressivo avanço de pequenas erosões para voçorocas. Dentro da calha do rio, foi verificado ao longo de toda a bacia, grande quantidade de material arenoso no fundo do rio, o que muitas vezes reduziu a calha principal a uma pequena porção do perfil transversal (figura 5.3).



FIGURA 5.3 – Trecho do rio com calha principal reduzida e presença de material arenoso.

Além disso, é corriqueira a presença de rebanhos bovinos às margens do rio para dessedentação e troca de pastagens de propriedades adjacentes (figura 5.4a). No entanto, nos trechos em que é verificada esta atividade, as margens estão desprotegidas e possivelmente constituem de locais de aporte de sedimentos a calha fluvial. Em alguns locais se verifica as diferentes tonalidades dos horizontes dos solos expostos encontrados nas margens (figura 5.4b).

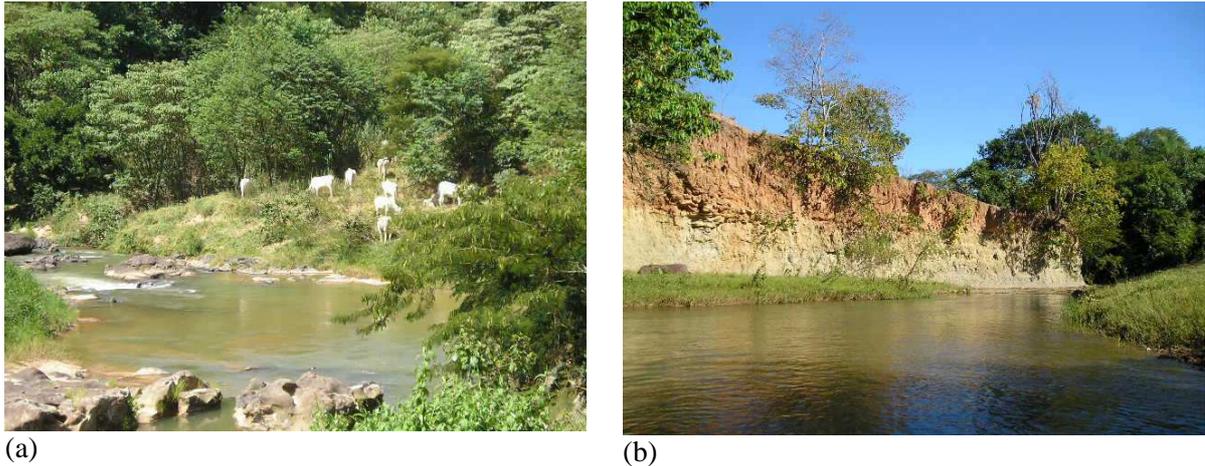


FIGURA 5.4 – (a) Rebanho bovino junto à margem para dessedentação. (b) Margem totalmente desprotegida, expondo diretamente os solos à erosão.

Em uma análise preliminar das condições de carreamentos de sedimento em suspensão, foram coletadas amostras desde a nascente do rio até sua foz no Rio Coxim. Estas amostras foram coletadas de modo expedito, no mês de março de 2004, e acondicionadas em recipiente plástico. Foi analisada a concentração total da amostra (2), correspondente a coletada na seção proposta neste estudo, resultando em 260mg/L. A figura 5.5 mostra apenas com caráter ilustrativo, a variação de tonalidade da água do rio desde sua nascente até sua foz.

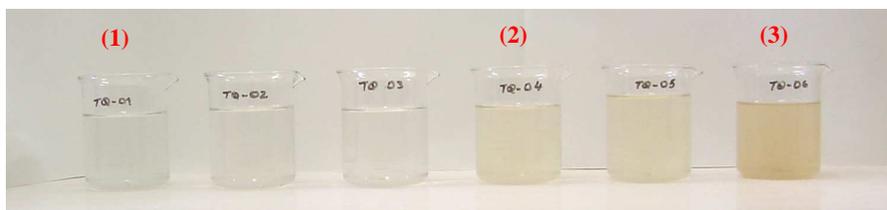


FIGURA 5.5 – Amostras de águas coletadas em março/2004, desde a nascente (1) até a montante da foz no Rio Coxim (3).

As dimensões da área em estudo, apresentando aproximadamente 495km², ocasionaram grande dificuldade na previsão, na espera e na observação dos eventos de

drenagem pluvial, principalmente em virtude do caráter aleatório das precipitações, que podem ocorrer em locais distintos, adjacentes ou isolados, com diferentes intensidades e durações. Apesar da utilização de modelos de previsão climática, especialmente precipitações, o operador necessita permanecer na região da seção de estudo com todos os equipamentos e demais recipientes de acondicionamento de amostras, na espera dos eventos ocorrerem. Por diversas vezes, foram presenciados súbitas elevações da cota linimétrica na seção, sem prévia observação ou até mesmo indicação de ocorrência de precipitações.

O pesquisador, ao optar pelo método de amostragem manual, mesmo que sendo discreta e pontual, deve estar preparado para obter amostras em fluxo de base (antes do evento chuvoso) e acompanhar rigorosamente a variação de cotas do rio, a fim de realizar as amostragens subsequentes dentro do método estipulado. Neste estudo, foi optado pelo monitoramento das cotas fluviais, servindo de parâmetro para se efetuar as coletas. O operador deve possuir conhecimentos do regime fluvial, a fim de estimar a frequência das observações do rio no decorrer da ascensão, pico e recessão do nível linimétrico.

Como usualmente a ascensão da cota se processa com maior taxa de variação, é necessário um acompanhamento intensivo a partir da constatação do início da onda de cheia. Esta variação intensa do fluxo se processa até atingir o pico de cheia do evento. Caso não ocorram novas contribuições a montante, há tendência a se estabilizar a cota no pico e iniciar a descida com gradiente bem inferior ao de subida.

5.2 Análise dos dados das cotas linimétricas

Primeiramente, foi analisada a qualidade dos dados de cotas do período em que houve monitoramento do operador da seção da ANA e o registro de dados no linígrafo. Foram comparados 1118 dados de cotas, no período de 15/08/2004 e 31/12/2006. Como o linígrafo foi calibrado no início da operação do posto, seus registros armazenados são tidos como sendo o valor esperado de cota. Na figura 5.6 está apresentado um gráfico de dispersão dos valores encontrados e as faixas de desvio em porcentagem em relação à linha tida como os valores reais (desvio igual 0%).

Observa-se que a maioria dos dados analisados está compreendida dentro do intervalo de desvio de (-10%; +10%), sendo que os maiores erros ocorrem principalmente nas cotas superiores a 90cm. Para melhor visualização, a figura 5.7 mostra a faixa da distribuição de

frequência dos erros de observação. Consta-se que 47% dos dados analisados apresentam um erro positivo de 5% e apenas 4,5% dos dados não apresentando desvio considerável. Assim, depreende-se que os maiores erros constatados ocorrem em cotas de ondas de cheia. A observação do nível do rio pode ter sido dificultada pelas condições climáticas ou mesmo não efetuadas nos horários diários recomendados de 7 e 17 horas.

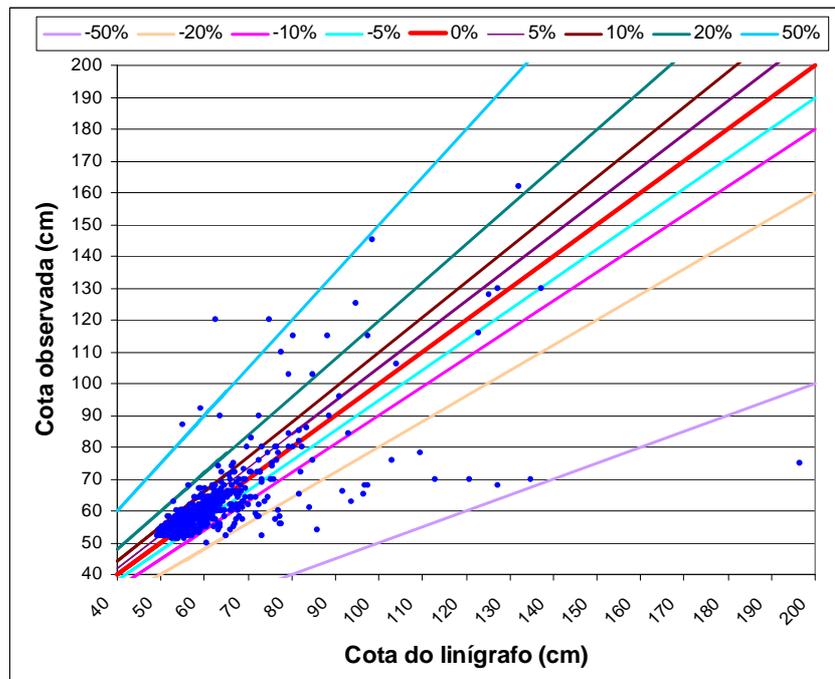


FIGURA 5.6 – Dispersão dos dados de cotas observadas e as registradas no linígrafo.

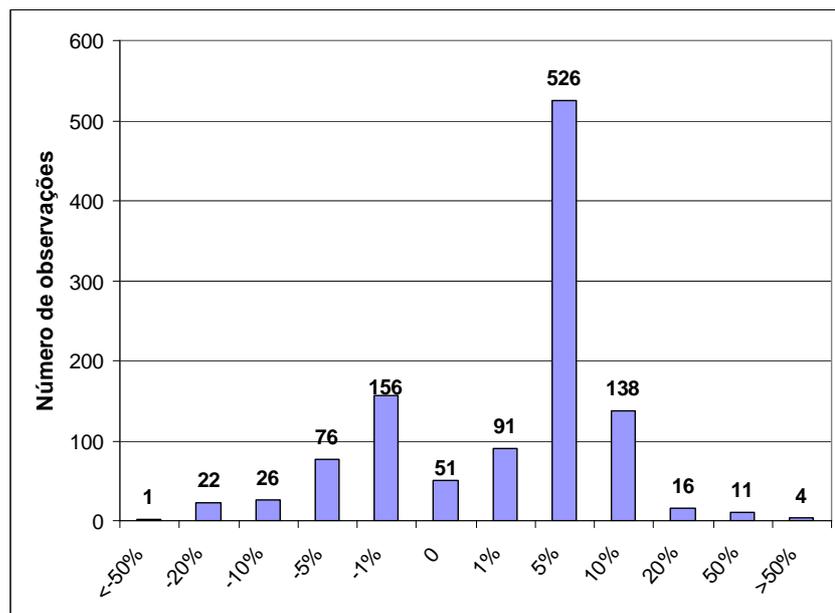


FIGURA 5.7 – Distribuição de frequência dos desvios de observação das cotas.

Há que se mencionar que o escoamento de base para este rio permanece em cotas em torno de 60cm ou menores, para os anos de 2004 a 2006 (figura 5.8). Nos demais anos, as curvas apresentadas referem-se aos dados históricos (H – Hidroweb). Nota-se que os dados disponíveis são de médias diárias e mensais para o período de 1984-2005. As curvas diferem bastante daquela obtida com a permanência de cotas observadas em intervalos de 30 minutos. No período de 2004-2006, as curvas históricas superestimaram os valores de cotas. O que pode explicar tal fato é que a média diária compõe-se das cotas observadas as 7 e 17 horas. Como se verifica que as ondas de cheia não permanecem muito tempo em cotas elevadas, leituras de régua em cotas altas majoram a média diária e, ao longo de muitos anos, podem elevar a permanência média do conjunto de dados.

Desta forma, para estudos em que há necessidade de confiabilidade dos dados, tal qual o presente estudo, é importante manter registradores automáticos, mormente em eventos de rápida variação de nível, o que praticamente inviabiliza o monitoramento humano.

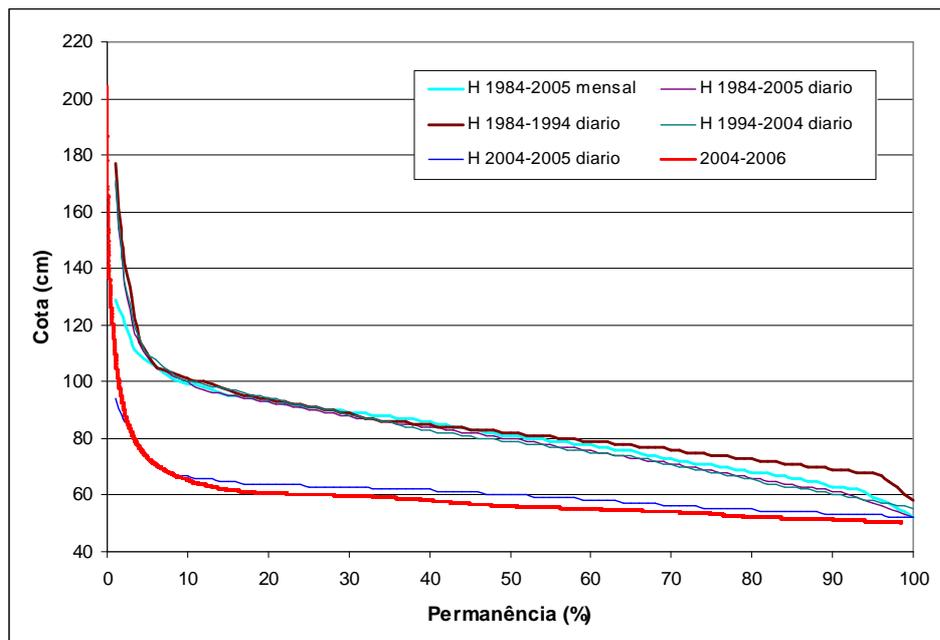


FIGURA 5.8 – Curva de permanência de cotas para os períodos de 1984 a 2006.

5.3 Análise das relações de descargas líquidas

Para a determinação das curvas de ajuste entre cota e vazão foram levantados os dados históricos disponíveis na Hidroweb (2007), nos campos de *Cotas*, *Vazões* e *Resumo de Descarga*. Além destes dados registrados, foi avaliado o ajuste em relação aos dados medidos

em campo. Assim, ao ajustar os dados na forma da eq.(4.1) foram obtidos os seguintes resultados:

$$Q_H = 3,84464 \times 10^{-8} (H_H + 70)^{3,7386}, \text{ com } R^2 = 1,00 \quad (5.1)$$

$$Q_{HRD} = 3,66813 \times 10^{-8} (H_{HRD} + 70)^{3,7822}, \text{ com } R^2 = 0,54 \quad (5.2)$$

$$Q_{OB} = 7,1 \times 10^{-4} (H_{OB} + 70)^{1,7715}, \text{ com } R^2 = 0,15 \quad (5.3)$$

Onde:

Q_H , H_H – vazão (m³/s), cota (cm) disponíveis na Hidroweb nos campos de *Cotas e Vazões*;

Q_{HRD} , H_{HRD} – vazão (m³/s), cota (cm) disponíveis na Hidroweb no campo *Resumo de Descarga* (tabela A.2, Anexo A);

Q_{OB} , H_{OB} – vazão (m³/s), cota (cm) observados em campo;

R^2 – coeficiente de correlação de ajuste.

As equações (5.1), (5.2) e (5.3) representam as curvas de ajuste cota-vazão (curvas-chave) respectivamente dados obtidos na página eletrônica da Hidroweb e dos dados observados em campo (através de medições). Nota-se que, em relação aos parâmetros a e n das equações (curva-chave exponencial tradicional), em ambos os casos, diferiram entre si. Ao se dispor os dados no gráfico da figura 5.9, com as cotas variando de 50 a 400cm, observa-se que há grande discrepância entre as respostas.

Observando-se a tabela A.1 (Anexo A), percebe-se que ainda são poucos os dados obtidos de campo, portanto, neste caso, a curva encontrada será apenas válida para o intervalo amostrado (das cotas 42 a 64cm). Para os outros valores apresentados, deve-se ressaltar que são dados extrapolados, com grande possibilidade de não corresponder a realidade do rio. Neste caso, as curvas históricas apresentam maior confiabilidade e para os eventos analisados neste estudo, as cotas extremas são inferiores a 200cm.

Ao se condensar os dados das tabelas A.1 e A.2 e efetuar os ajustes de uma outra curva cota-vazão, obteve-se uma curva intermediária de ajuste, disposta na eq.(5.4) e na figura 5.10, a qual para o presente estudo, foi adotada para todos os cálculos de vazões, devido sua melhor resposta principalmente para vazões maiores.

$$Q_{HRD+OB} = 1,39947 \times 10^{-7} (H_{HRD+OB} + 70)^{3,5169}, \text{ com } R^2 = 0,56 \quad (5.4)$$

e desvio padrão de 2,99m³/s.

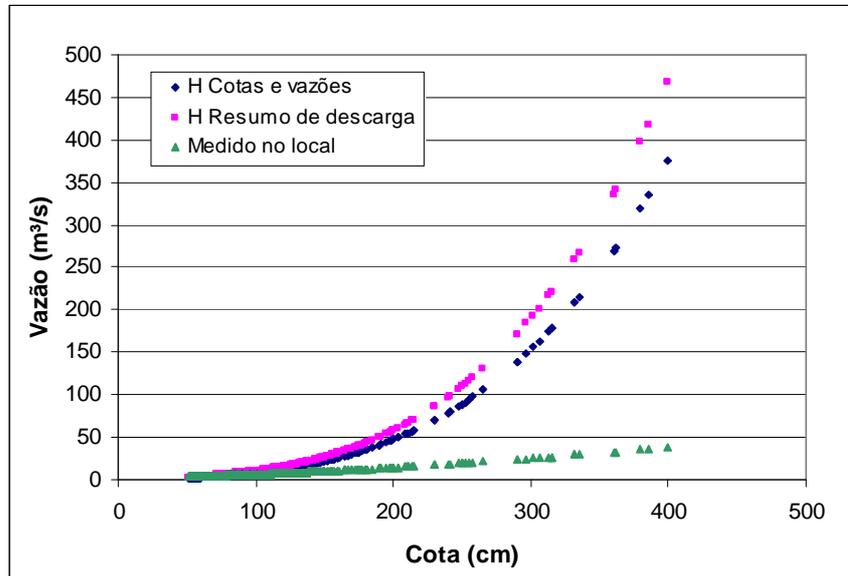


FIGURA 5.9 – Comparação das curvas-chave dos dados históricos e medidos.

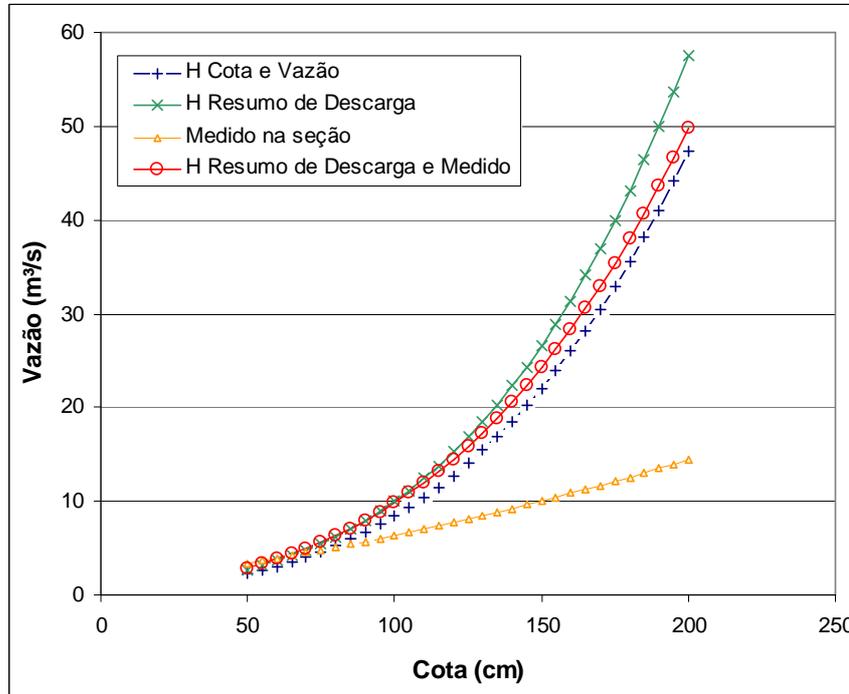


FIGURA 5.10 – Curva-chave composta dos dados históricos e medidos na seção.

A diferença nas respostas das curvas-chave está bastante relacionada à forma geométrica da seção, uma vez que a vazão líquida é dependente da área molhada ocupada pelo fluxo. Deste modo, foi disposto na figura 5.11 o gráfico com os pontos gerados da relação cota e área molhada da seção, para os dados levantados nas tabelas A.1 e A.2.

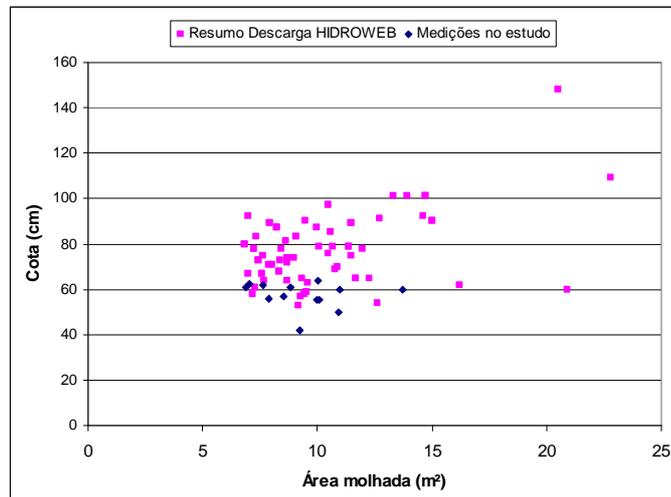


FIGURA 5.11 – Relação entre área molhada e cota da seção.

A grande variabilidade dos dados obtidos provavelmente se deve ao fato de que a seção transversal do rio vem sofrendo alterações ao longo dos anos, tanto nas margens quanto no leito, principalmente a grande mobilidade do fundo do rio. Conseqüentemente, os valores resultantes dessas duas variáveis estão dispersos. Nesse sentido, a variação da configuração do perfil transversal da seção pode ser analisado ao longo dos anos, posto que existem dados históricos de batimetria. Na figura 5.12, apresenta-se a variação ocorrida do ano de 1995 e 2006. Nota-se a que houve mudanças nas margens sofrendo erosão na margem esquerda e deposição na margem direita. O leito do rio também sofreu alterações, ora erodindo, ora assoreando. Verificou-se em campo que a calha do rio transporta material arenoso, sofrendo variações de sua configuração com muita frequência. No gráfico do perfil transversal, pode-se observar as grandes variações do fundo ocorridas entre os dias 14 e 22 de agosto de 2004. Tal fato indica a existência de calha com fundo móvel.

De modo semelhante ao observado para as cotas, a permanência das vazões se comportou diferenciadamente para aquelas totalizadas com vazões diárias e mensais (figura 5.13). Os dados de vazões a cada 30 minutos foram calculados pela eq.(5.4) para os anos 2004 a 2006. Para uma permanência de 20%, obtém-se o valor de $3,9\text{m}^3/\text{s}$. Ao se verificar nas vazões históricas, encontram-se os valores de $3,5\text{m}^3/\text{s}$ (2004-2005 diário), $8,1\text{m}^3/\text{s}$ (1984-2005

mensal) e $7,2\text{m}^3/\text{s}$ (1984-2005 diário). Estes valores divergem de -11%, 185% e 208% respectivamente, evidenciando que o método de compor a permanência (intervalo de medição e/ou cálculo de vazão) influi consideravelmente nos resultados. De modo análogo às cotas, as curvas históricas de vazões superestimaram os valores obtidos no período de monitoramento. Uma vez que os valores de vazões disponibilizados pela Hidroweb são calculados por curva-chave, os gráficos se assemelham àqueles apresentados pela permanência das cotas (figura 5.8), apenas com as curvas mais aproximadas entre si, devido aos diferentes valores dos parâmetros do ajuste exponencial adotados nas eqs.(5.1) e (5.4).

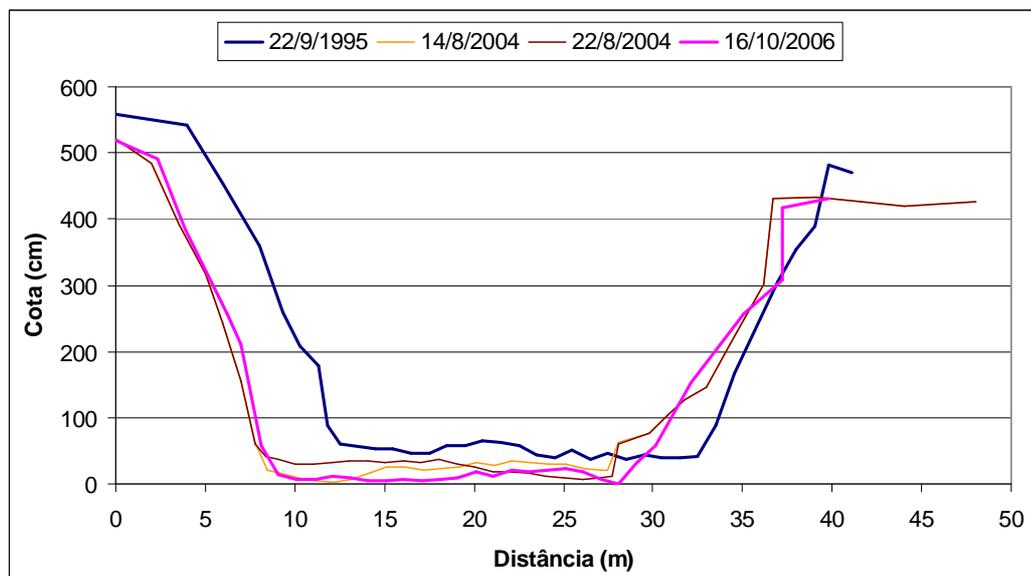


FIGURA 5.12 – Variações no perfil transversal de 1995 a 2006.

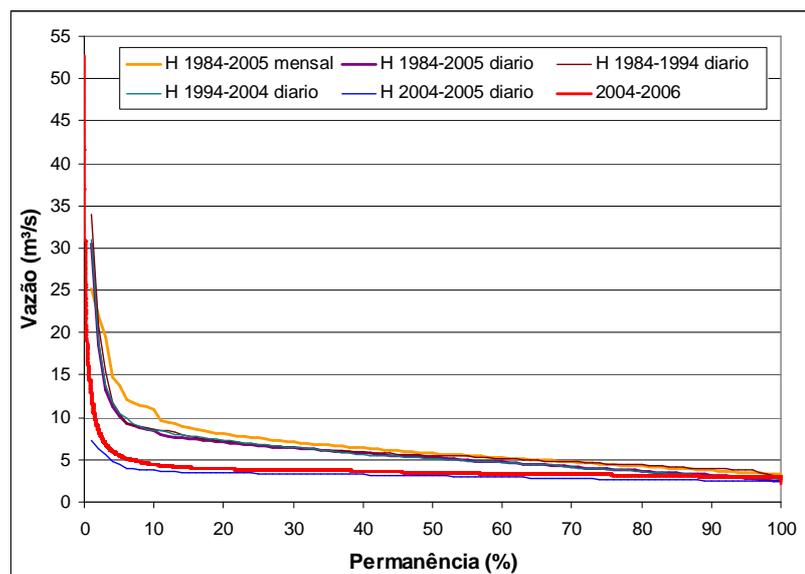


FIGURA 5.13 – Curvas de permanência de vazões, de 1984 a 2006.

5.4 Análise dos eventos monitorados

Este estudo efetuou o acompanhamento completo de 6 (seis) eventos. As datas e horas de amostragem estão apresentadas na tabela 5.1. A amostra 01b é aquela que se coleta na iminência do evento chuvoso, ao passo que a amostra 01 é coletada em período antecedente do evento, para caracterizar os parâmetros do fluxo de base. Nos anexos B.1 a B.4 estão dispostos em tabelas, os valores de cotas, vazões, sólidos totais (em suspensão e dissolvidos) e turbidez de cada amostra monitorada. Apresenta-se na tabela 5.2, os resultados das análises de peneiramento das amostragens efetuadas com o amostrador tipo copo e o amostrador BLM-84. Tais amostras foram obtidas para se determinar, de modo preliminar, quais os materiais que estão presentes no leito e em movimento durante os escoamentos de base e dos eventos chuvosos.

TABELA 5.1 – Datas e horas das coletas das amostras

Amostra	Evento 01	Evento 02	Evento 03	Evento 04	Evento 05	Evento 06
01	-	11/09/05 07:00	-	-	-	04/02/07 13:00
01b	08/03/05 13:30	12/09/05 00:30	10/03/06 15:00	28/03/06 18:00	08/12/06 09:00	05/02/07 02:30
02	08/03/05 19:23	12/09/05 05:30	10/03/06 18:00	28/03/06 20:30	08/12/06 16:30	05/02/07 10:30
03	09/03/05 00:45	13/09/05 07:00	10/03/06 21:00	28/03/06 22:00	08/12/06 23:00	05/02/07 12:00
04	09/03/05 13:00	15/09/05 07:30	11/03/06 20:00	28/03/06 23:30	09/12/06 03:00	05/02/07 19:00
05				29/03/06 01:30	09/12/06 08:30	05/02/07 22:00
06				29/03/06 04:30	09/12/06 11:30	06/02/07 08:30
07					09/12/06 16:30	
08					09/12/06 19:30	
09					10/12/06 10:30	
10					11/12/06 18:00	

Ao analisar os gráficos das figuras 5.14 e 5.15, nota-se que em ambos os tipos de amostragens (copo e BLM-84) foram encontradas as maiores porcentagens nas frações de 0,250-0,500mm e 0,500-1,000mm, que correspondem respectivamente a areia média e grossa (segundo classificação constante da tabela 4.4). Somadas, estas porcentagens ultrapassam 80% de todo o material do leito, seja durante escoamento de base ou em evento chuvoso.

TABELA 5.2 – Diâmetros e coeficientes característicos para material de fundo.

Data	d_m	d_{med}	d_g	σ_g	Gr	Assimetria	2ª Assimetria	Curtose
14/8/2004 V6	0,301	0,343	0,3333	1,2721	1,2787	0,4235	0,6552	0,8643
14/8/2004 V12	0,322	0,370	0,3545	1,3428	1,3490	0,3262	0,5783	0,7945
14/8/2004 V18	0,342	0,400	0,3796	1,3804	1,3879	0,3236	0,7095	0,9267
20/10/2004 V6	0,332	0,389	0,3713	1,3601	1,3686	0,3638	0,7417	0,9211
20/10/2004 V12	0,350	0,471	0,4269	1,5695	1,6005	0,4406	1,0116	0,9335
20/10/2004 V18	0,350	0,336	0,3253	1,2910	1,2944	-0,2862	-0,0067	0,7406
09/03/2005 V01	0,475	0,534	0,4838	1,5708	1,5711	0,0407	0,0885	0,6468
09/03/2005 V02	0,310	0,333	0,3227	1,2858	1,2869	0,1603	0,2273	0,8529
09/03/2005 V03	0,344	0,377	0,3557	1,4114	1,4122	0,0968	0,0704	0,5585
09/03/2005 V04	0,288	0,369	0,3349	1,5648	1,5826	0,3367	0,5893	0,5778
09/03/2005 V05	0,402	0,419	0,3873	1,4897	1,4907	-0,0933	-0,0842	0,5810
09/03/2005 V06	0,333	0,378	0,3431	1,5594	1,5601	0,0671	0,2027	0,5013
09/03/2005 V07	0,523	0,578	0,5249	1,5622	1,5622	0,0081	-0,0479	0,5888
09/03/2005 V08	0,475	0,512	0,4722	1,5037	1,5037	-0,0147	0,1101	0,7633
09/03/2005 V09	0,605	0,648	0,6081	1,4308	1,4308	0,0141	0,0854	0,8031
09/03/2005 V10	0,442	0,483	0,4594	1,3713	1,3724	0,1223	0,2045	1,0472
09/03/2005 V11	0,512	0,566	0,5280	1,4584	1,4591	0,0813	0,1385	0,8638
03/04/2005 V3	0,563	0,594	0,5493	1,4927	1,4932	-0,0614	-0,1134	0,7395
03/04/2005 V6	0,495	0,496	0,4645	1,4381	1,4410	-0,1750	-0,3368	0,9204
03/04/2005 V9	0,450	0,442	0,4140	1,4373	1,4424	-0,2301	-0,2599	0,7760
10/03/2005 V01	0,429	0,491	0,4396	1,6104	1,6109	0,0514	-0,1007	1,0769
10/03/2005 V02	0,462	0,492	0,4333	1,6731	1,6765	-0,1245	-0,4224	0,8835
10/03/2005 V03	0,482	0,512	0,4551	1,6370	1,6397	-0,1165	-0,3773	1,0880
10/03/2005 V04	0,642	0,691	0,6446	1,4583	1,4583	0,0106	-1,1948	1,7856
10/03/2005 V05	0,378	0,399	0,3620	1,5606	1,5620	-0,0969	-0,3393	0,9086
10/03/2005 V06	0,440	0,500	0,4292	1,7591	1,7596	-0,0440	-0,2586	0,7817
10/03/2005 V07	0,390	0,433	0,3837	1,6470	1,6472	-0,0324	-0,1680	0,7876
10/03/2005 V08	0,359	0,392	0,3565	1,5568	1,5568	-0,0158	-0,0619	0,9554
10/03/2005 V09	0,520	0,487	0,4268	1,6870	1,7200	-0,3777	-0,6625	0,7535
10/03/2005 V10	0,338	0,392	0,3630	1,4877	1,4914	0,1796	0,0435	1,1569
10/03/2005 V11	0,267	0,252	0,2444	1,2727	1,2777	-0,3674	-0,2761	2,0403
04/04/2005 V01	0,955	1,049	0,8800	1,8410	1,8471	-0,1341	-0,4069	0,4904
04/04/2005 V02	0,800	0,794	0,7046	1,6463	1,6596	-0,2547	-0,2269	0,8647
04/04/2005 V03	0,575	0,656	0,5006	2,1576	2,1784	-0,1803	-0,3496	0,6558
04/04/2005 V04	0,397	0,399	0,3808	1,3601	1,3613	-0,1351	-0,2467	0,6431
04/04/2005 V05	1,130	1,018	0,8790	1,7406	1,7958	-0,4532	-0,8400	0,7098
04/04/2005 V06	0,750	0,925	0,8054	1,7135	1,7179	0,1322	0,1390	0,4762
04/04/2005 V07	0,555	0,649	0,5632	1,7223	1,7225	0,0270	-0,0660	0,5147
04/04/2005 V08	0,698	0,668	0,6328	1,3907	1,3974	-0,2975	-0,4394	0,6191
04/04/2005 V09	0,555	0,688	0,6290	1,5342	1,5462	0,2925	0,5738	0,6377
04/04/2005 V10	0,465	0,457	0,4511	1,1748	1,1754	-0,1879	-0,8712	1,1891

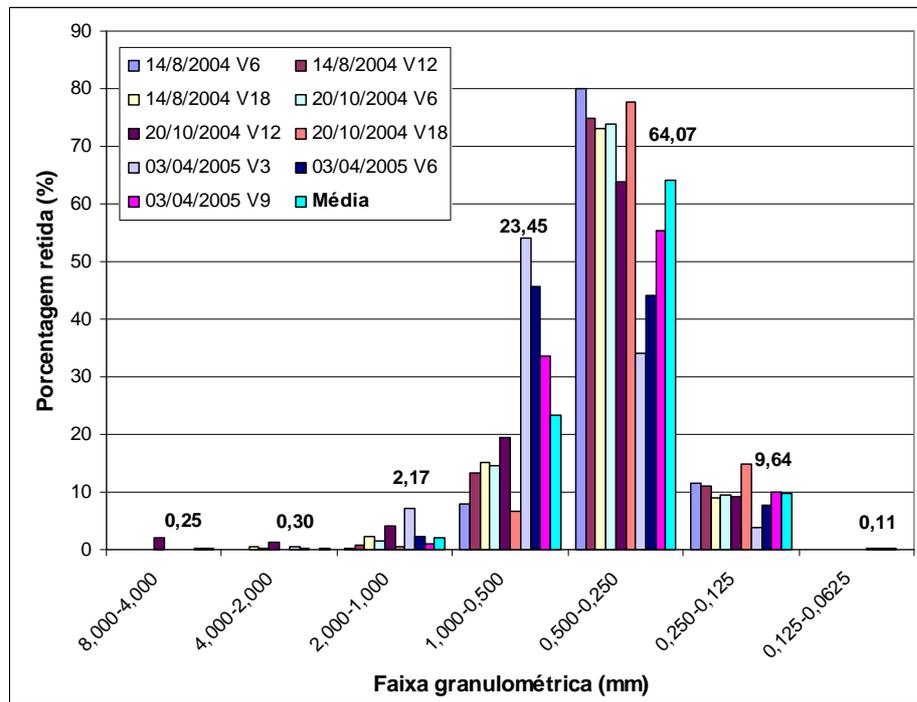


FIGURA 5.14 – Distribuição granulométrica por faixas, amostrador tipo copo.

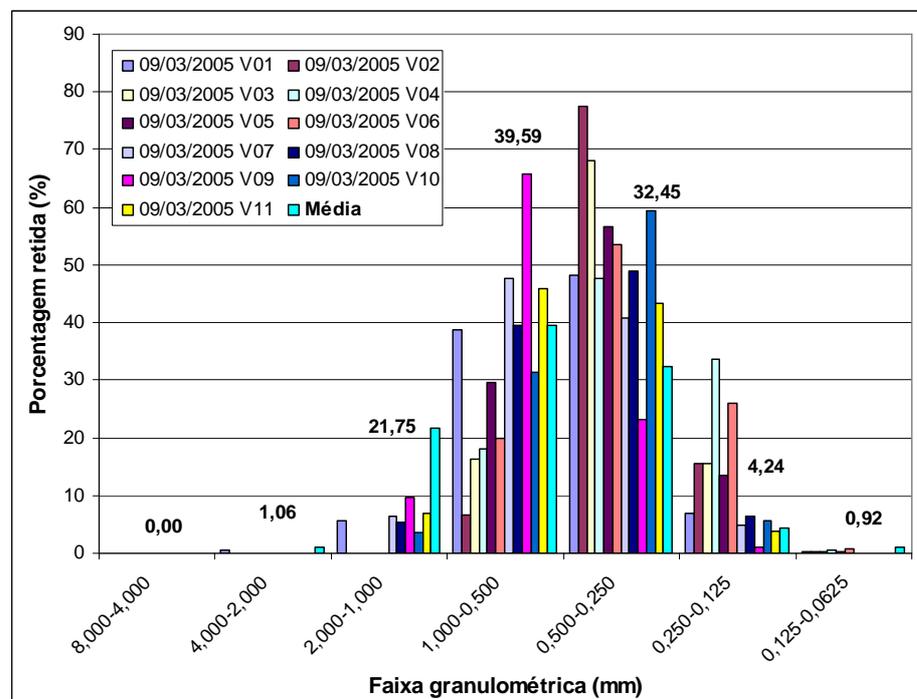


FIGURA 5.15 – Distribuição granulométrica por faixas, amostrador tipo BLM-84.

Na amostragem com o BLM-84, a fração de areia da faixa de 1,000-2,000, classificada como areia muito grossa, apresentou ligeiro acréscimo em relação à amostragem com o copo. Isto pode estar relacionado com as maiores velocidades e maiores turbulências do fluxo que ocorre na onda de cheia.

Nos gráficos das figuras 5.16 e 5.17, observa-se a distribuição granulométrica por verticais de amostragem, utilizando os dois amostradores (copo e BLM-84). Na figura 5.16, vê-se que o transporte da fração 0,250-0,125mm se manteve constante em quase todas as verticais amostradas. Isto pode ser resultante das ondas de cheia imediatamente anteriores aquela data, em que foram transportados as partículas de maior diâmetro. No período de escoamento de base, com menores velocidades de corrente, o transporte dessa fração mais fina tendeu a se manter distribuída. Na maioria das verticais, foram encontradas grandes porcentagens em movimento da fração 0,500-0,250mm, seguida da fração 1,000-0,500mm. Ao observar a figura 3.9, vê-se que as frações granulométricas entre 0,250-1,000mm necessitam de velocidades média muito baixas (da ordem de 8cm/s) para que se desenvolva o transporte sólido e velocidades pouco maiores que 30cm/s para que ocorra a erosão destes materiais.

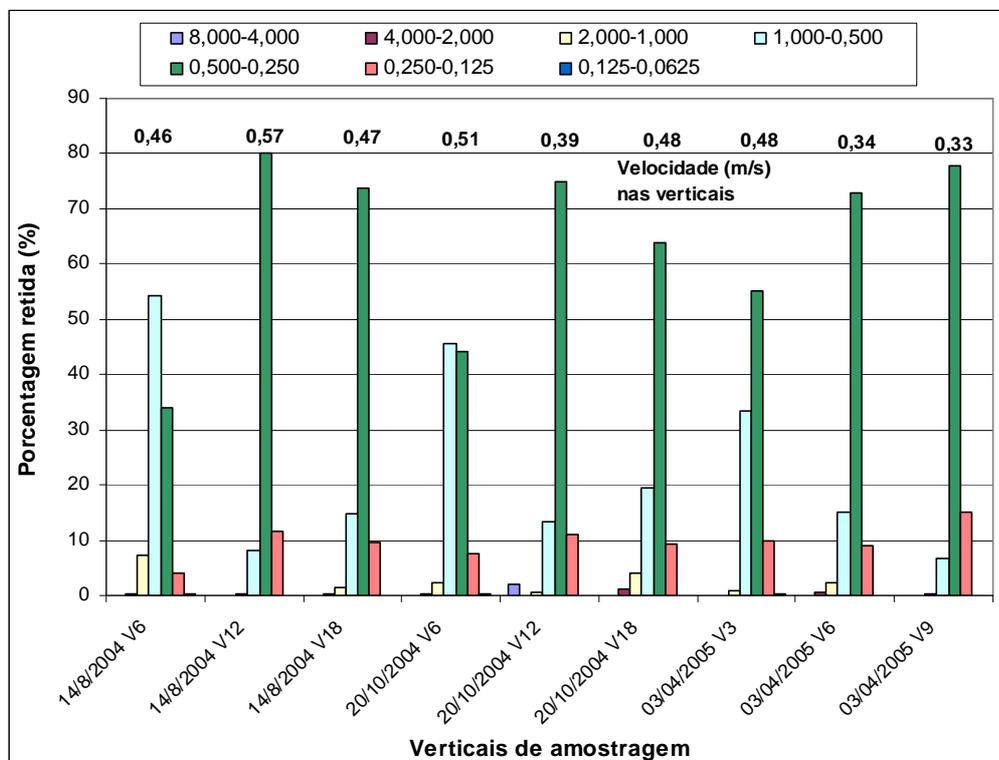


FIGURA 5.16 – Distribuição granulométrica por verticais, amostrador tipo copo.

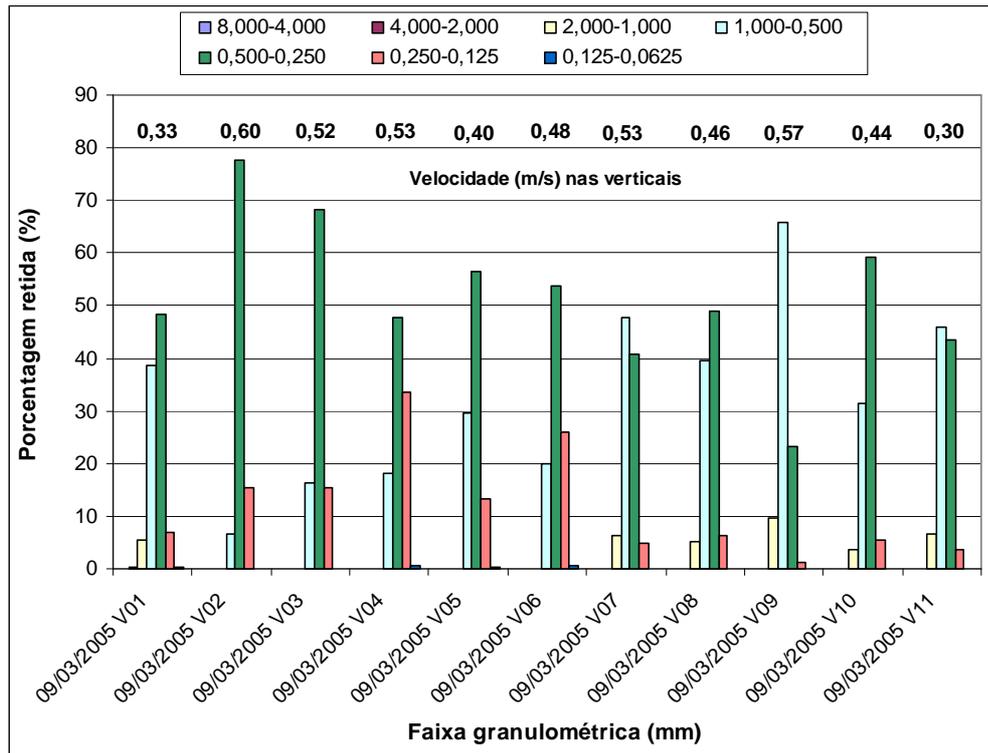


FIGURA 5.17 – Distribuição granulométrica por verticais, amostrador tipo BLM-84.

Na figura 5.17, as verticais de maiores velocidades (02 e 09) apresentaram as maiores porcentagens de materiais transportados. No entanto, estas diferem na fração granulométrica carregada. Isto indica que ao longo das diversas posições da seção, há diferentes frações de material de fundo, os quais são carregados, conforme sua disponibilidade. Devido às maiores velocidades desenvolvidas durante o evento de cheia, observa-se que há três frações granulométricas com maiores porcentagens de transporte: 1,000-0,500, 0,500-0,250 e 0,250-0,125mm. Apesar de existir verticais com velocidades médias de escoamento semelhantes, as frações em movimento são diferentes. Isto vem a reforçar a hipótese de que o carreamento ocorre no material disponível naquela posição e naquele período de amostragem.

Os demais gráficos de distribuição granulométrica estão dispostos no Anexo B (figuras B.1 a B.4).

Seguindo com a análise dos dados da tabela 5.2, é possível calcular os diâmetros e coeficientes característicos das amostras de fundo. A tabela 5.3 apresenta os resultados médios obtidos dos parâmetros calculados. Em todos os casos, os diâmetros médio, mediano e geométrico não apresentaram valores próximos o que indica que não se trata de uma distribuição normal típica (onde esses três valores convergem para um único). Isto vem a ser

confirmado ao se analisar os valores de assimetria e curtose. Os valores do diâmetro geométrico e do coeficiente de gradação se mostraram bem próximos, em uma mesma amostragem. Estes valores constituem o desvio padrão, em torno do diâmetro médio dos grãos, cuja curva granulométrica é representada por uma lei de distribuição de frequência log-normal. Em ambos os casos, a curtose se apresentou positiva, o que aponta para uma curva mais pontuda na região central da distribuição. Já para as assimetrias, três valores se mostraram positivos, denotando que a região central está mais deslocada para os diâmetros mais grossos. As demais amostras apresentaram valor negativo, mostrando assimetria da distribuição para diâmetros mais finos.

TABELA 5.3 – Diâmetros e coeficientes característicos médios das amostras de fundo.

Data	d_m médio	d_{med} médio	d_g médio	σ_g médio	Gr médio	Assimetria média	2ª Assimetria média	Curtose média
14/8/2004 V6 / V12 / V18	0,3217	0,3708	0,3558	1,3318	1,3385	0,3578	0,6477	0,8618
20/10/2004 V6 / V12 / V18	0,3440	0,3987	0,3745	1,4068	1,4212	0,1727	0,5822	0,8651
09/03/2005 V01 a V11	0,428	0,472	0,438	1,473	1,476	0,075	0,144	0,708
03/04/2005 V3 / V6 / V9	0,5027	0,5103	0,4759	1,4561	1,4588	-0,1555	-0,2367	0,8120
10/03/2005 V01 a V11	0,428	0,458	0,413	1,577	1,582	-0,085	-0,347	1,111
04/04/2005 V01 a V10	0,688	0,730	0,643	1,628	1,640	-0,119	-0,273	0,680

Por meio dos dados da tabela 5.4, foi obtido o valor médio do coeficiente de Manning (n médio) utilizando-se a eq.(4.14). Os resultados apresentados variaram de 0,023 a 0,026, o que se aproxima bastante do valor mínimo de 0,025 recomendado por CHOW (1959), para rios naturais com larguras inferiores a 30m, em locais planos, de trecho limpo e reto, mostrado na tabela 4.6. O trecho da seção de estudo se encaixa nesse perfil, visto que a declividade é bastante baixa, da ordem de 2,3mm/m (figura 5.18), em se tratando de região de planalto. A largura do trecho geralmente se mantém abaixo de 30m e constitui um canal reto.

Na figura 5.18, estão mostradas as declividades do rio desde a nascente até a seção em estudo. O perfil longitudinal foi calculado a partir de mapas topográficos com curvas de nível espaçadas de 40m. A declividade indicada para o trecho, foi obtida no local a partir do nivelamento de um trecho de aproximadamente 400m. Vê-se que a declividade obtida no local é 3,85 vezes inferior aquela extraída do perfil longitudinal.

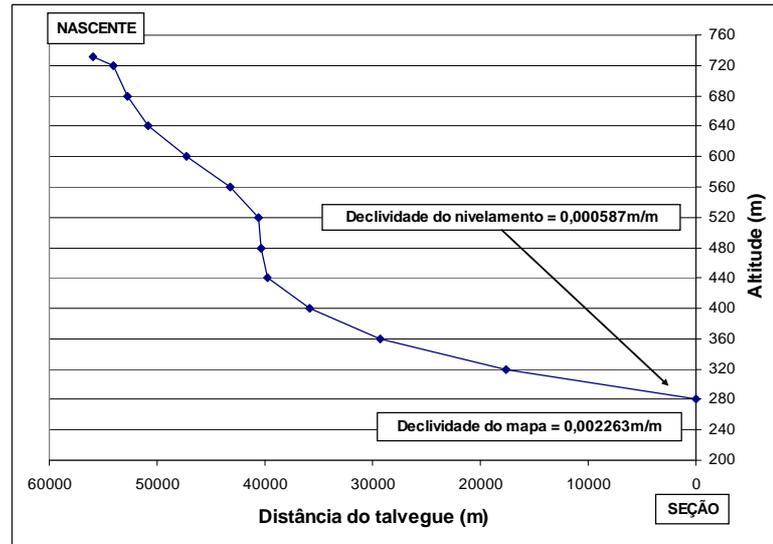


FIGURA 5.18 – Perfil longitudinal do rio desde a nascente até a seção de estudo.

TABELA 5.4 – Cálculo do d_{90} médio para obtenção do valor do coeficiente de Manning.

Data	Amostrador	Condição do escoamento	Verticais											d_{90} médio	n médio		
			01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11				
14/8/2004 V6	Copo	base			0,482												
14/8/2004 V12	Copo	base						0,552									
14/8/2004 V18	Copo	base										0,625				0,553	0,023
20/10/2004 V6	Copo	base			0,600												
20/10/2004 V12	Copo	base						0,850									
20/10/2004 V18	Copo	base										0,465				0,638	0,024
09/03/2005 V01	BLM-84	recessão	0,870														
09/03/2005 V02	BLM-84	recessão		0,465													
09/03/2005 V03	BLM-84	recessão			0,555												
09/03/2005 V04	BLM-84	recessão				0,610											
09/03/2005 V05	BLM-84	recessão					0,638										
09/03/2005 V06	BLM-84	recessão						0,600									
09/03/2005 V07	BLM-84	recessão							0,930								
09/03/2005 V08	BLM-84	recessão								0,830							
09/03/2005 V09	BLM-84	recessão									1,000						
09/03/2005 V10	BLM-84	recessão										0,740					
09/03/2005 V11	BLM-84	recessão											0,880		0,738	0,024	
03/04/2005 V3	copo	base			0,940												
03/04/2005 V6	copo	base						0,760									
03/04/2005 V9	copo	base										0,682				0,794	0,025
10/03/2005 V01	BLM-84	base	0,880														
10/03/2005 V02	BLM-84	base		0,830													
10/03/2005 V03	BLM-84	base			0,860												
10/03/2005 V04	BLM-84	base				1,110											
10/03/2005 V05	BLM-84	base					0,645										
10/03/2005 V06	BLM-84	base						0,880									
10/03/2005 V07	BLM-84	base							0,735								
10/03/2005 V08	BLM-84	base								0,670							
10/03/2005 V09	BLM-84	base									0,800						
10/03/2005 V10	BLM-84	base										0,655					
10/03/2005 V11	BLM-84	base											0,353	0,765	0,025		
04/04/2005 V01	BLM-84	base	1,730														
04/04/2005 V02	BLM-84	base		1,350													
04/04/2005 V03	BLM-84	base			1,280												
04/04/2005 V04	BLM-84	base				0,540											
04/04/2005 V05	BLM-84	base					1,670										
04/04/2005 V06	BLM-84	base						1,590									
04/04/2005 V07	BLM-84	base							1,060								
04/04/2005 V08	BLM-84	base								0,940							
04/04/2005 V09	BLM-84	base									1,160						
04/04/2005 V10	BLM-84	base										0,550		1,187	0,026		

5.5 Cálculo da descarga sólida e análises

De posse dos dados de vazão e de sólidos totais foi calculada a descarga sólida em suspensão (Qss), conforme a eq.(4.4). Os resultados estão dispostos na tabela 5.5.

TABELA 5.5 – Dados de vazão e sólidos totais para cada amostra dos eventos.

Evento	Horário	Vazão m ³ /s	ST medido mg/L	Qss t/dia
01	02/03/05 16:45	3,458	57	16,88
	08/03/05 13:30	3,305	56	15,99
	08/03/05 19:23	10,164	560	491,77
	09/03/05 00:45	6,076	1420	745,45
	09/03/05 13:00	3,873	162	54,21
02	11/09/05 07:00	3,012	43	11,19
	12/09/05 00:30	3,165	43	11,76
	12/09/05 05:30	3,834	51	16,76
	13/09/05 07:00	3,270	130	36,73
	15/09/05 07:30	3,165	175	47,85
03	10/03/06 15:00	3,963	176	60,26
	10/03/06 18:00	15,806	624	852,16
	10/03/06 21:00	7,039	645	392,27
	11/03/06 20:00	3,872	93	31,11
04	28/03/06 16:30	4,174	56	20,20
	28/03/06 20:30	7,994	164	113,27
	28/03/06 22:00	6,983	1120	675,73
	28/03/06 23:30	5,905	1381	704,58
	29/03/06 01:30	4,914	1241	526,89
	29/03/06 04:30	4,206	158	57,42
05	08/12/06 09:00	3,608	72	22,44
	08/12/06 16:30	15,561	1020	1371,36
	08/12/06 23:00	11,467	886	877,80
	09/12/06 03:00	7,953	960	659,65
	09/12/06 08:30	6,160	542	288,47
	09/12/06 11:30	7,607	387	254,35
	09/12/06 16:30	6,076	348	182,69
	09/12/06 19:30	9,116	496	390,66
	10/12/06 10:30	5,593	299	144,49
11/12/06 18:00	4,024	92	31,99	
06	04/02/07 13:00	4,055	39	13,66
	05/02/07 02:30	4,055	39	13,66
	05/02/07 10:30	6,589	206	116,99
	05/02/07 12:00	6,118	155	81,67
	05/02/07 19:00	5,138	103	45,50
	05/02/07 22:00	4,574	162	63,82
	06/02/07 08:30	4,086	46	16,24

Ao se relacionar os dados de vazão e de Q_{ss} , foi obtida a curva-chave de sedimentos em suspensão, mostradas nas figuras 5.19a e 5.19b. No total, foram utilizados 37 dados para a confecção desta curva, apresentando uma correlação R^2 de 0,72. Observa-se que a maior dispersão dos dados ocorreu para as vazões superiores a $5\text{m}^3/\text{s}$. Buscou-se também relacionar os dados de vazão e de concentração de sedimentos em suspensão (CSS). A curva de ajuste apresentou uma correlação R^2 inferior aquela obtida para a Q_{ss} , resultando em 0,54. Esta curva de ajuste está apresentada nas figuras 5.20a e 5.20b. Observa-se que para as vazões superiores a $5\text{m}^3/\text{s}$, há maior dispersão dos dados. É importante ressaltar que estas curvas são válidas no intervalo amostrado, ou seja, para vazões inferiores a $16\text{m}^3/\text{s}$.

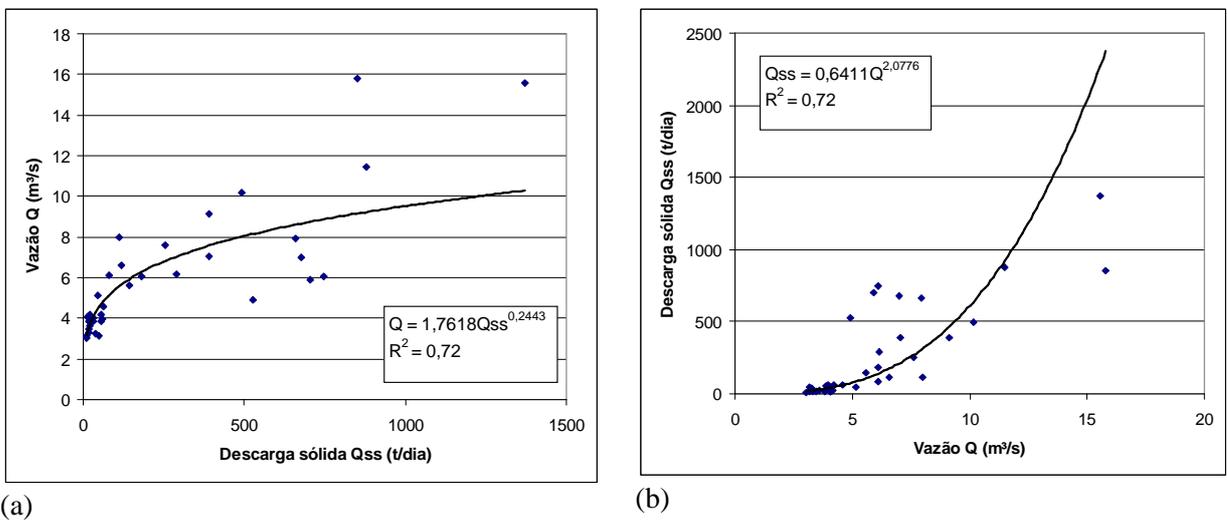


FIGURA 5.19 – Curva-chave de sedimentos em suspensão: (a) com vazão em função da descarga sólida e (b) com a descarga sólida em função da vazão.

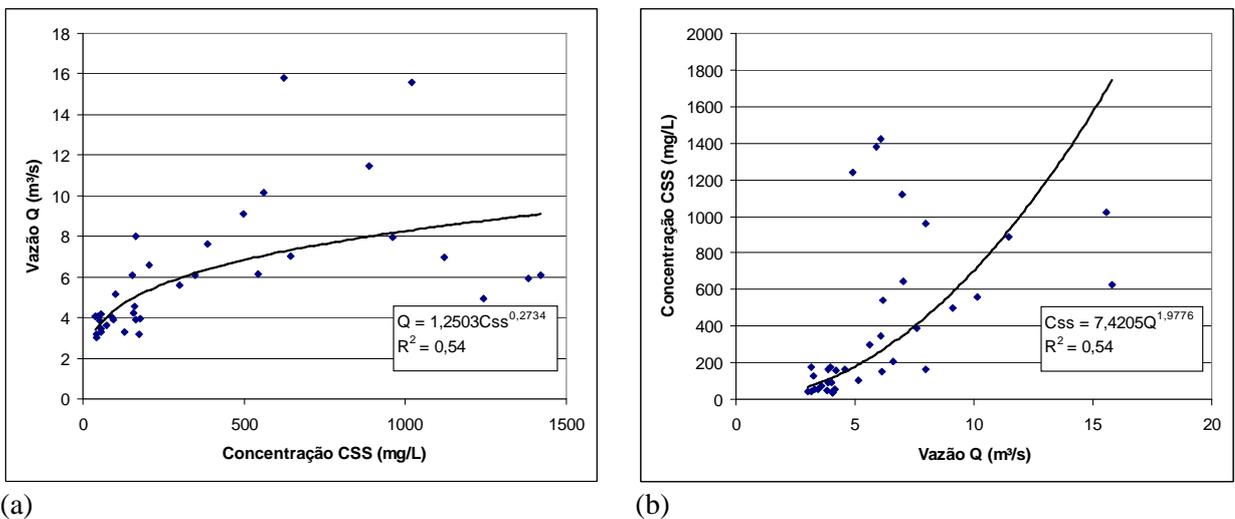


FIGURA 5.20 – Curva-chave de sedimentos em suspensão: (a) com vazão em função da concentração de sólidos em suspensão (CSS) e (b) com a CSS em função da vazão.

Quanto à descarga sólida de fundo ou de arraste (Q_{sa}), foram analisados três eventos, sendo dois em escoamento de base e um em evento chuvoso. Os cálculos das medições estão dispostos nos anexos C.1 a C.3. Resumidamente, os resultados estão apresentados na tabela 5.6.

TABELA 5.6 – Resultados da descarga sólida de arraste (Q_{sa}) e descarga de sedimentos em suspensão (Q_{ss}).

Data / Horário	Tipo de escoamento	Q_{sa} (t/dia)	Vazão (m^3/s)	Q_{ss} (t/dia)	Relação Q_{sa}/Q_{ss}
09/03/2005 04:00h	recessão	7,35	6,56	31,91	0,23
10/03/2005 14:00h	base	1,68	4,22	12,75	0,13
06/04/2005 15:00h	base	1,39	3,41	8,17	0,17

Observa-se na tabela 5.6 que a relação de descarga sólida de arraste varia de 17 a 23% da descarga de sólidos em suspensão. Na tabela 4.5, foi indicado valores percentuais referenciais para certas condições de concentração de sedimentos e material do fundo do rio. Para este estudo, as condições 1 e 2 vão atender alternadamente conforme ocorrer a variação da concentração acima de 1.000mg/L. Para estas faixas, os valores recomendados variam de 10 a 150% da descarga em suspensão. Nota-se que os valores encontrados estão contidos neste intervalo e, portanto, serão adotados como válidos para se obter a estimativa de descarga de leito.

5.6 Análise da CME e curvas acumuladas adimensionais

As CMEs foram calculadas utilizando-se a eq.(4.15) e os dados constantes dos anexos B.2 e B.3 (vazão e concentração de sedimentos totais). Os resultados podem ser visualizados na tabela 5.7 e nos gráficos dos hidrogramas apresentados nas figuras 5.21 a 5.26.

TABELA 5.7 – Valores de concentração média, concentração de pico, vazão média e descarga sólida em suspensão média dos eventos.

	Evento					
	01	02	03	04	05	06
CME (mg/L)	646,2	97,4	503,9	710,5	633,5	128,0
CPE (mg/L)	1420	175	645	1381	1020	206
QME (m^3/s)	5,445	3,465	3,091	5,493	6,741	4,803
$Q_{ss}ME$ (t/dia)	304,00	29,16	134,57	337,20	368,96	53,12

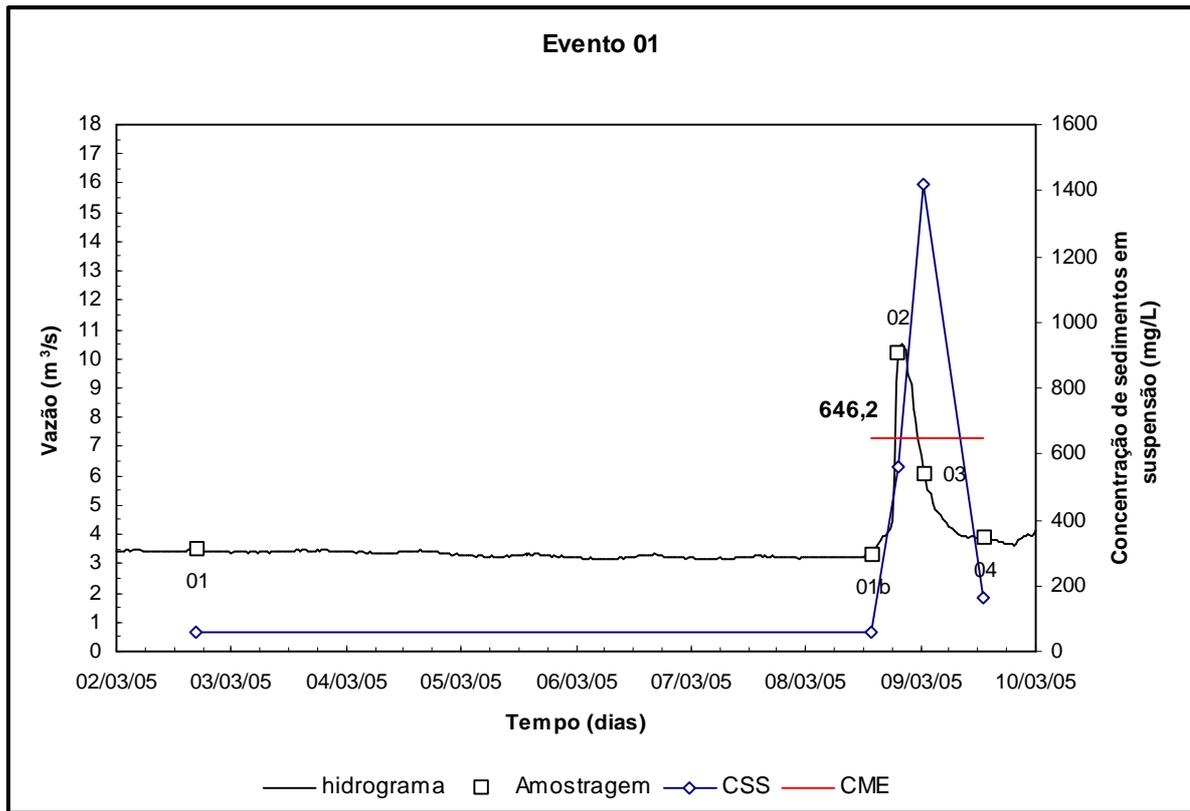


FIGURA 5.21 – Hidrograma, pontos de amostragem e valor da CME no evento 01.

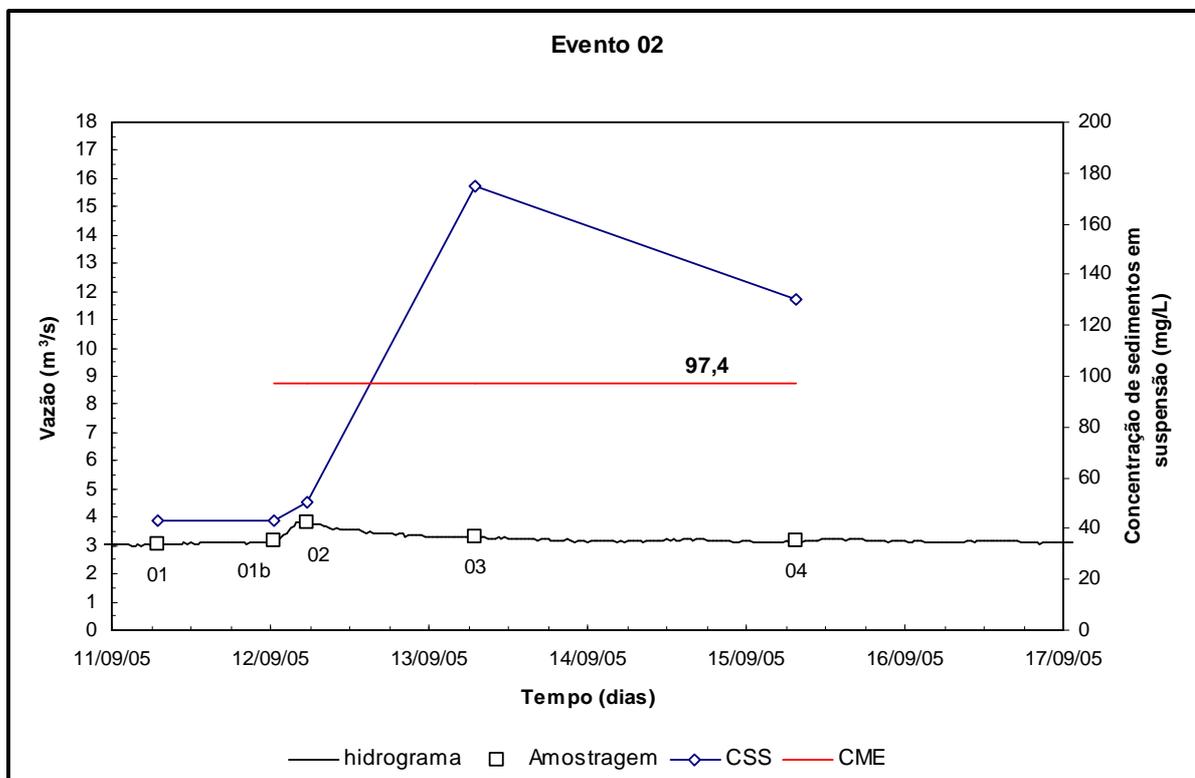


FIGURA 5.22 – Hidrograma, pontos de amostragem e valor da CME no evento 02.

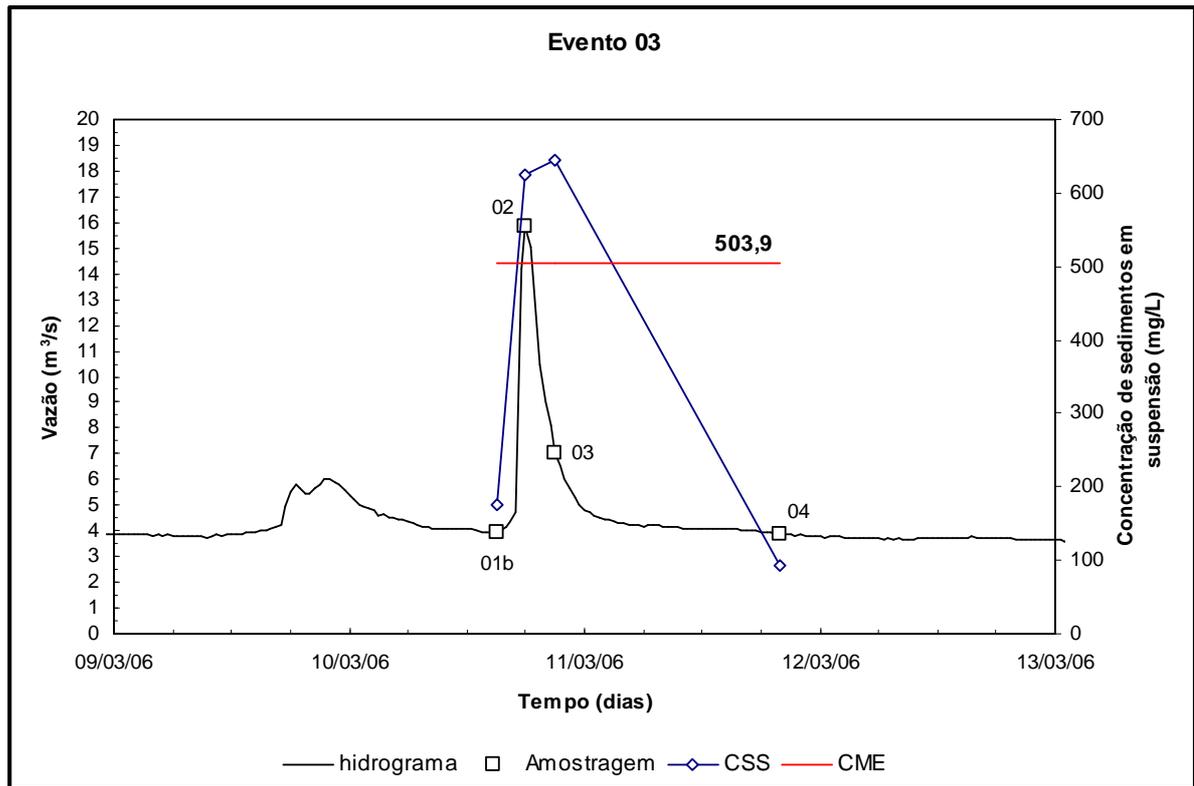


FIGURA 5.23 – Hidrograma, pontos de amostragem e valor da CME no evento 03.

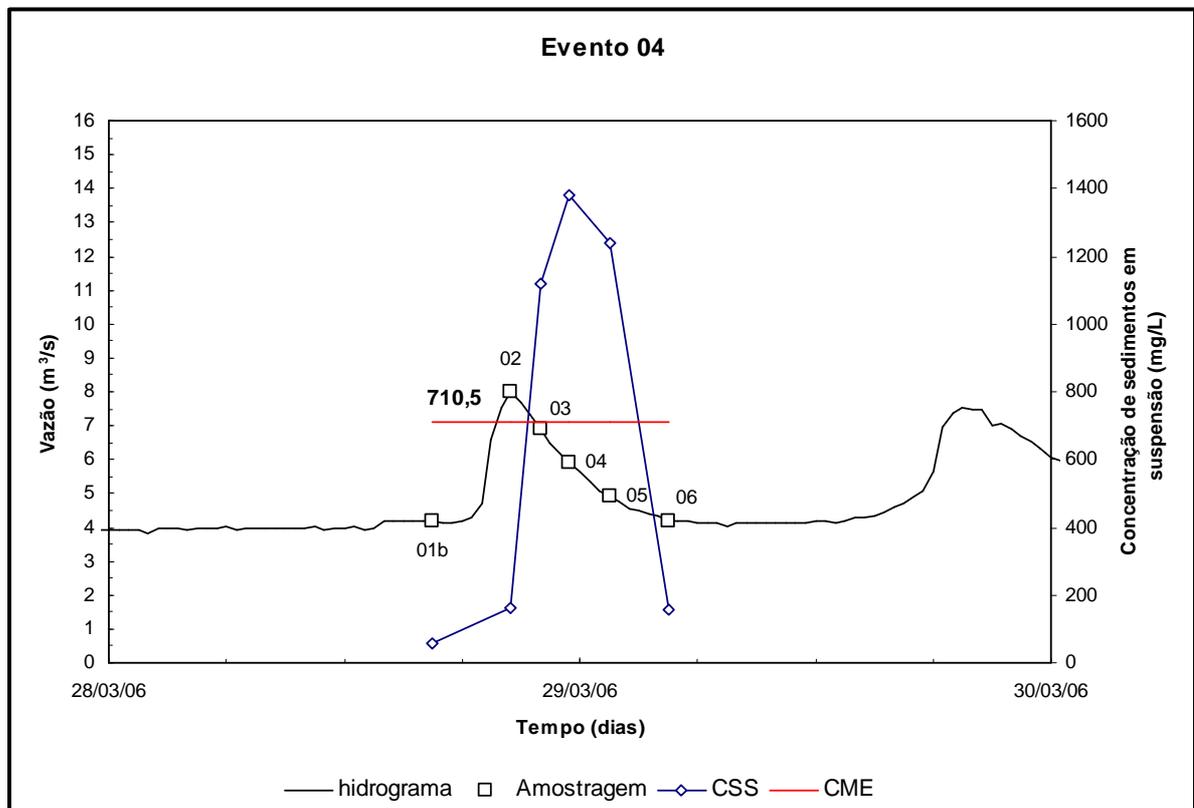


FIGURA 5.24 – Hidrograma, pontos de amostragem e valor da CME no evento 04.

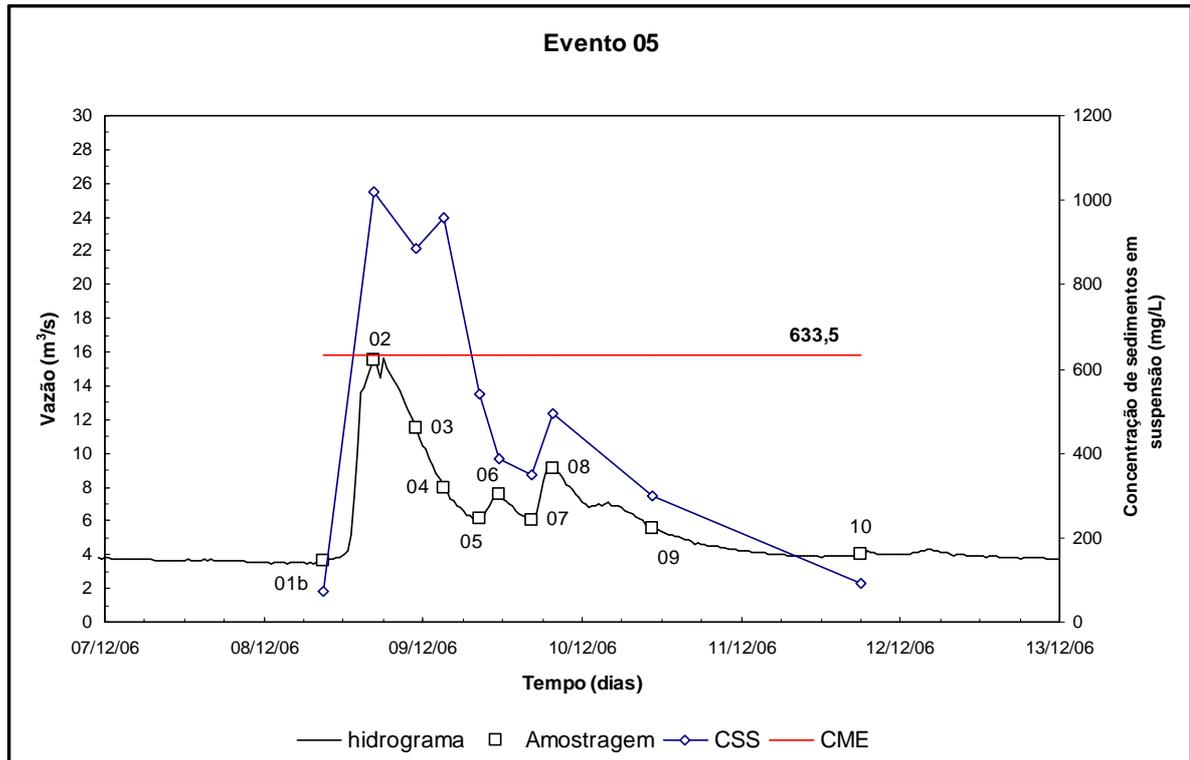


FIGURA 5.25 – Hidrograma, pontos de amostragem e valor da CME no evento 05.

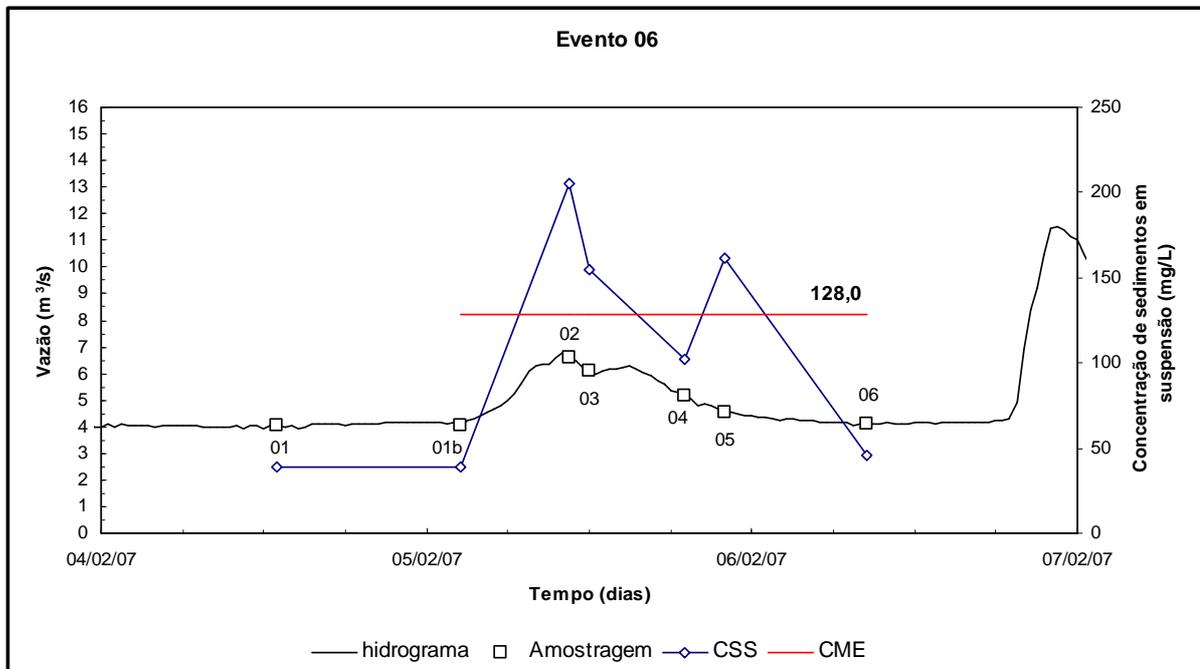


FIGURA 5.26 – Hidrograma, pontos de amostragem e valor da CME no evento 06.

Os gráficos dos eventos das figuras 5.21 a 5.26 mostram que o pico de concentração das amostras estiveram praticamente juntos com o hidrograma (eventos 05 e 06) ou atrasados (eventos 01 a 04). Apenas para efeito de comparação, foram relacionados os valores de concentração de pico do evento (CPE) com os valores médios (figura 5.27). A reta de ajuste aos dados indica que, em média, os valores de pico de concentração se apresentaram com aproximadamente 82% a mais que o valor médio encontrado no evento de cheia. No entanto, os seis eventos se encontram dentro da faixa de 20 a 120% da concentração média observada, indicando uma grande amplitude de variação.

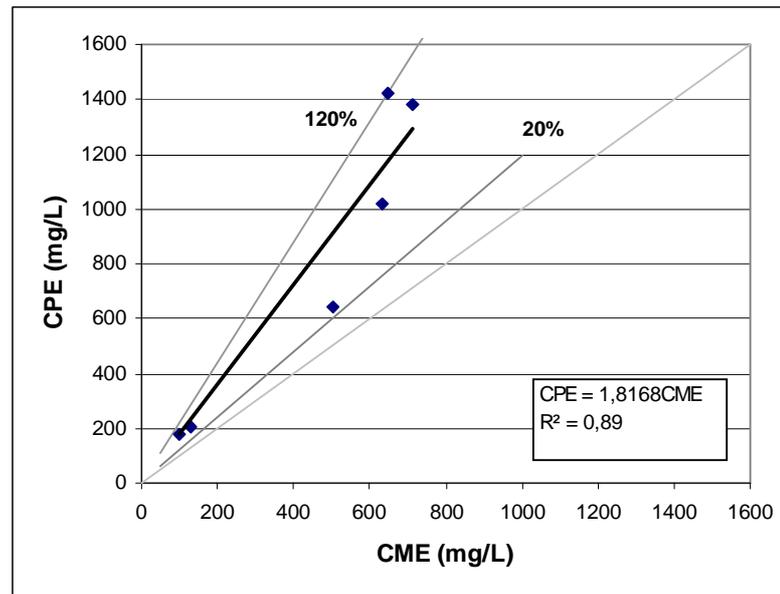


FIGURA 5.27 – Relação entre CPE e CME dos eventos.

Foram determinadas outras curvas de tendência entre diversos parâmetros a fim de se visualizar a possibilidade de obter bons coeficientes de correlação (R^2 mais próximo de 1,0). Para tanto, relacionou-se os dados de CPE e de Q_{ssME} dispondo graficamente através da figura 5.28. A curva de ajuste se trata de uma reta com boa correlação ($R^2 = 0,85$).

Ao se expressar no gráfico da figura 5.29 a relação entre Q_{ME} e Q_{ssME} , obteve-se uma reta de ajuste com correlação R^2 de 0,64. Este ajuste em particular tem grande valia pois relaciona o parâmetro de vazão média com a descarga sólida em suspensão média dos eventos. Levando-se em conta que é menos custoso se obter a vazão média dos eventos do que a amostragem da onda de cheia para determinação da Q_{ssME} , seria bastante proveitoso o estabelecimento de uma curva consistente destes parâmetros.

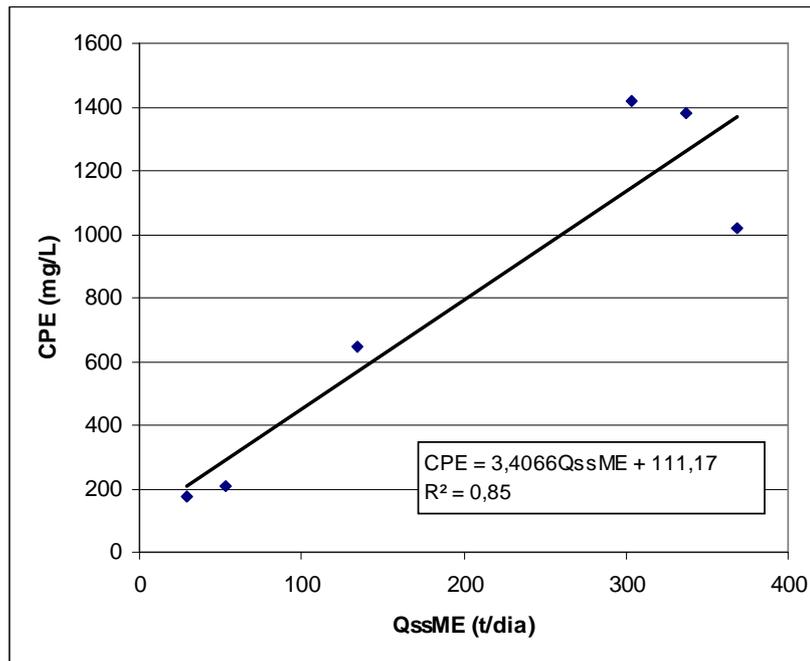


FIGURA 5.28 – Relação entre CPE e QssME dos eventos.

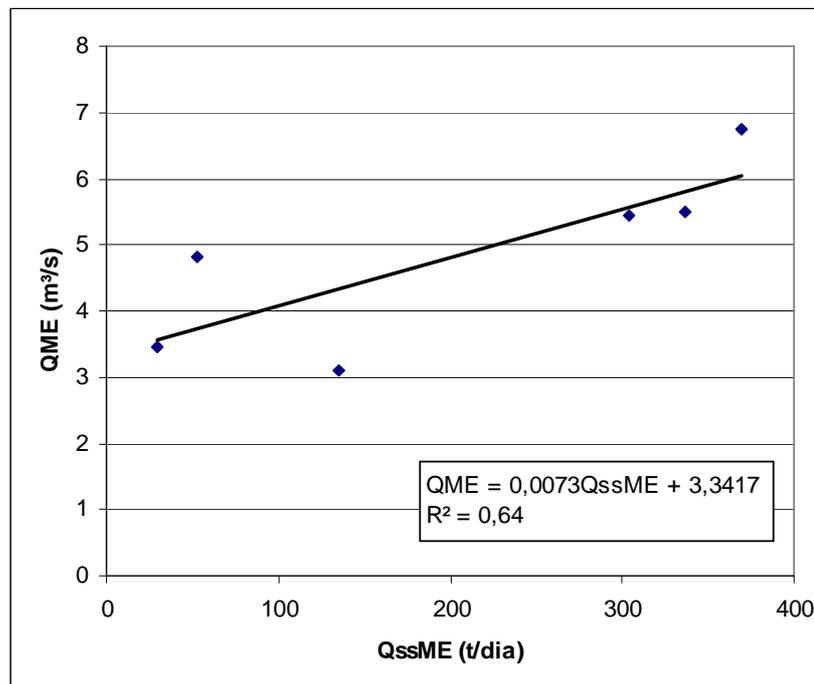


FIGURA 5.29 – Relação entre QME e QssME dos eventos.

No entanto, devido ao número restrito de eventos analisados, estas curvas (figuras 5.28 e 5.29) devem ser utilizadas apenas para a visualização da existência de tendência,

necessitando, posteriormente, de acompanhamento de diferentes eventos, com diferentes níveis de aporte sólido e líquido, para que se tenha uma confiabilidade de estimativa.

Como descrito no item 4.10, preparou-se as curvas adimensionais acumulativas de massa e volume dos eventos ora estudados. Estas podem ser visualizadas na figura 5.30. Os dois métodos de composição das curvas apresentaram diferentes resultados.

Quanto à ocorrência de carga de primeira lavagem, nenhum evento apontou evidências em quaisquer dos métodos de composição das curvas acumuladas. No entanto, os eventos 3 e 5 foram os que se aproximaram mais de atingir a condição de que 80% da massa acumulada seja transportada em até 30% do volume inicial acumulado no evento. Provavelmente, se os picos de concentração antecipssem os picos do hidrograma, haveria ocorrido o fenômeno de primeira lavagem.

As diferentes configurações das curvas (CCSs e amostras) possivelmente se devem a distribuição espacial e intensidade das precipitações, bem como a disponibilidade de materiais sólidos a serem transportados no período de sua ocorrência e a concentração obtida em cada amostra analisada ao longo do evento.

Ao se comparar as duas curvas em um mesmo evento, as diferenças apresentadas estão relacionadas à metodologia empregada em sua confecção. Desde que a curva-chave de sedimentos em suspensão apresente boa correlação, o método que a utilizada para os cálculos de massa são mais representativos do fenômeno. O segundo método proposto se aplica quando não é possível utilizar a curva de descarga sólida ou quando se esteja analisando outro constituinte que não permite tal curva de ajuste. Neste caso, é necessário se ampliar a quantidade de amostras ao longo do evento, no intuito de que a média das concentrações nos intervalos amostrais (amostragens discretas) represente o fenômeno com um todo.

5.7 Análise do deflúvio sólido médio e produção específica

Foram calculados os deflúvios sólidos médios para os anos de 2005 e 2006 a partir dos dados das curvas de permanência obtidas neste estudo. A fim de comparar os resultados, as curvas de permanência empregadas foram totalizadas com vazões a cada 30 minutos e com a média diária (vazão obtida das cotas de 7 e 17 horas). Ainda, foi totalizado o deflúvio médio para o período histórico disponível na Hidroweb (2007) compreendido entre 1984 a 2005, com permanência calculada com vazões médias diárias (figura 5.31).

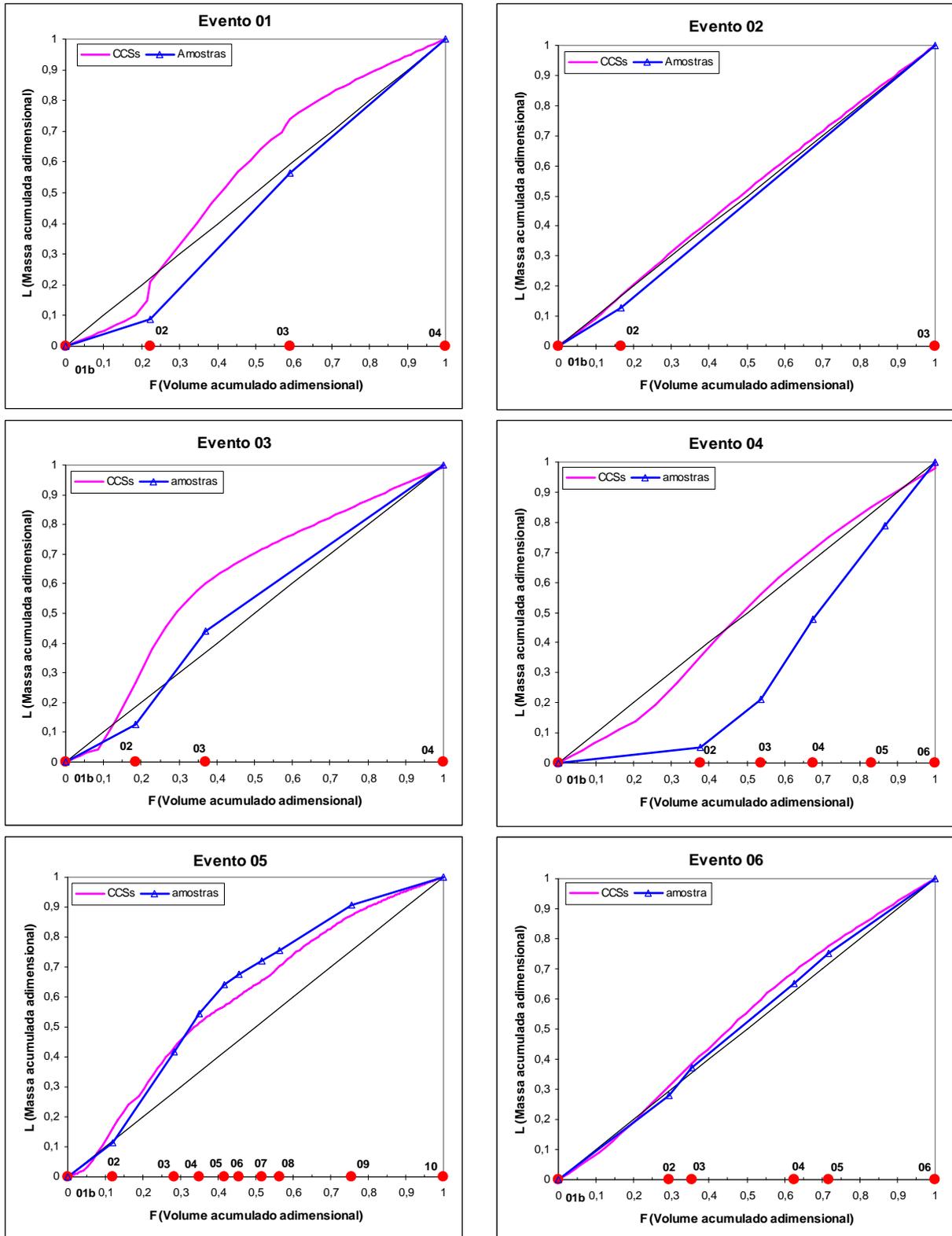


FIGURA 5.30 – Curvas acumulativas adimensionais de massa e volume dos eventos.

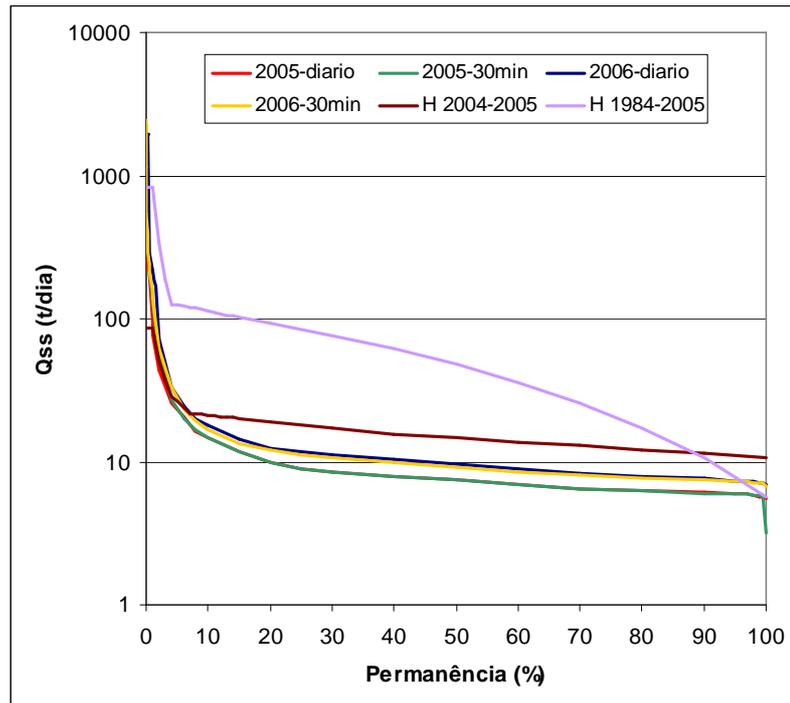


FIGURA 5.31 – Curvas de permanência de descarga sólida em suspensão utilizada no cálculo do deflúvio sólido.

Verifica-se que os dados dos anos individualizados (2005 e 2006) subestimam as descargas sólidas quando comparadas com as curvas históricas. No entanto, a permanência da descarga sólida em suspensão está diretamente relacionada à permanência da descarga líquida, visto que para seu desenvolvimento, foi utilizada a curva-chave de sedimentos (CCSs). Por sua vez, a permanência de cotas está relacionada a permanência da descarga líquida, posto que foi utilizada a curva-chave de cota-vazão. Assim, as considerações feitas à curva de permanência de cotas podem ser estendidas à curva de permanência da descarga sólida. Deste modo, é mais apropriado dizer que as curvas históricas podem estar superestimando as descargas sólidas. Ressalta-se que é necessário um período maior de registros de dados a cada 30 minutos para se afirmar esta condição sugerida. Os cálculos efetuados estão dispostos no anexo D. Resumidamente, os resultados são apresentados na tabela 5.8.

Para a estimativa do deflúvio de arraste, toma-se a relação Q_{sa}/Q_{ss} para os dois casos: escoamento de base e onde de cheia. Assim, para o primeiro caso, o valor é a média entre 13% e 17% obtidas da tabela 5.6, o que resulta em 15%. Para o caso de onde de cheia, foi obtido apenas um resultado de campo (23%), que será adotado como válido para tais eventos.

TABELA 5.8 – Resultados de descarga sólida média diária, anual e a produção específica para os anos de 1984 a 2006.

Ano	Vazão média diária (m ³ /s)	Descarga sólida média diária em suspensão (t/dia)	Descarga sólida média anual em suspensão (t/ano)	Produção específica (t/(km ² .ano))
H 2004-2005 (diário)	4,73	16,93	6.182,34	12,50
H 1984-2005 (diário)	8,33	68,24	24.910,43	50,35
2005 (30 minutos)	3,71	13,26	4.843,29	9,79
2005 (diário)	3,64	11,38	4.154,97	8,40
2006 (30 minutos)	4,05	15,29	5.584,45	11,29
2006 (diário)	4,27	22,97	8.385,19	16,95

Separa-se as vazões médias diárias da tabela 5.8 e verifica-se em cada uma das tabelas do anexo D, quais os valores de permanência (P) correspondentes para o escoamento de base e o evento chuvoso. Os resultados estão dispostos nas tabelas 5.9 e 5.10.

TABELA 5.9 – Cálculo da Qsa/Qss ponderada pela permanência da vazão líquida.

Ano	Vazão média diária (m ³ /s)	Permanência de escoamento de base (Peb) (%)	Permanência de evento chuvoso (100 - Peb) (%)	Qsa/Qss eb ⁽¹⁾ x Peb	Qsa/Qss ec ⁽²⁾ X (100-Peb)	Qsa/Qss ponderada
H 2004-2005 (diário)	4,73	64,60	35,40	9,76	8,16	17,92
H 1984-2005 (diário)	8,33	53,60	46,40	8,09	10,69	18,79
2005 (30 minutos)	3,71	79,40	20,60	11,99	4,75	16,74
2005 (diário)	3,64	84,80	15,20	12,81	3,50	16,31
2006 (30 minutos)	4,05	77,90	22,10	11,77	5,09	16,86
2006 (diário)	4,27	81,90	18,10	12,37	4,17	16,54

⁽¹⁾ eb – escoamento de base; ⁽²⁾ ec – evento chuvoso

TABELA 5.10 – Cálculo da produção específica total (suspensão e arraste) estimada.

Ano	Qsa/Qss ponderada	Descarga sólida média diária em suspensão (t/dia)	Descarga sólida média anual total estimada (t/ano)	Produção específica total estimada (t/(km ² .ano))
H 2004-2005 (diário)	17,92	16,93	7.290,47	14,74
H 1984-2005 (diário)	18,79	68,24	29.593,31	59,82
2005 (30 minutos)	16,74	13,26	5.654,43	11,43
2005 (diário)	16,31	11,38	4.833,00	9,77
2006 (30 minutos)	16,86	15,29	6.526,39	13,19
2006 (diário)	16,54	22,97	9.772,84	19,76

Os valores encontrados de produção específica total (suspensão e de fundo) estão bem abaixo daqueles indicados pelo gráfico da figura 3.12 e do mapa de zoneamento da figura 3.13. Para a área da bacia de 494,7km², esperava-se encontrar valores ditos normais de produção de sedimento da ordem de 1.000t/(km².ano). No entanto, os valores variam entre aproximadamente 10 e 60t/(km².ano). Na zona hidrossedimentológica 00 do mapa de zoneamento, na qual a bacia se encontra, é esperado valores de produção variando de 100 a 150t/(km².ano). Em média, a estimativa deste estudo representa aproximadamente 30% dos valores médios esperados.

Entretanto, a estimativa de carga de arraste pode ter sido subestimada, uma vez que o intervalo de variação indicado por Carvalho (2000a), na tabela 4.7, pode variar de 10 a 150% da concentração de sedimentos em suspensão. As porcentagens utilizadas na estimativa da carga de leito (tabela 5.6) estão bastante próximas do limite inferior do intervalo recomendado para a estimativa. Admitindo-se a hipótese de que a bacia em questão possa atingir a porcentagem máxima para a relação Q_{sa}/Q_{ss} e considerando que os valores históricos do período de 1984-2005 estejam adequados, isto resultaria em um valor aproximado de 90t/(km².ano). Ainda assim, este resultado se mostra abaixo dos valores médios esperados para esta bacia, que se variam entre 100 e 150t/(km².ano).

5.8 Análise da turbidez e da concentração de sedimentos em suspensão

Os dados de turbidez e de concentração de sólidos suspensos medidos e utilizados nos cálculos estão dispostos na tabela 5.11. Ao se observar os resultados em termos de erros relativos (ER) em função dos sete modelos de estimativa da concentração em suspensão (CSS1 a CSS7), verifica-se que a variação é muito grande, desde 1,1% até 7.199%.

Os resultados das equações de CSS1 a CSS7, com base nos estudos de Teixeira et al. (2005); Paranhos & Paiva (2005); Paiva et al. (2002), não se apresentam satisfatórios para estimar a concentração. Isto pode ser atribuído aos diversos aspectos regionais que influenciam no ajuste das curvas para cada localidade em que foram desenvolvidas, tais como tipos de solos, cor aparente e sedimentos em suspensão.

TABELA 5.11 – Cálculo das equações de CSS e os respectivos erros relativos.

Data	Turbidez	CSS medido	CSS1 ER 1	CSS2 ER 2	CSS3 ER 3	CSS4 ER 4	CSS5 ER 5	CSS6 ER 6	CSS7 ER 7
Horário	(UNT)	(mg/L)	(%)	(mg/L) (%)	(mg/L) (%)	(mg/L) (%)	(mg/L) (%)	(mg/L) (%)	(mg/L) (%)
04/02/07 13:00	43,4	39	31,90 22,3	34,39 13,4	33,88 15,1	33,36 16,9	33,14 17,7	14,74 164,5	31,40 24,2
05/02/07 02:30	43,4	39	31,90 22,3	34,39 13,4	33,88 15,1	33,36 16,9	33,14 17,7	14,74 164,5	31,40 24,2
11/09/05 07:00	11,2	43	1,90 2167,4	NC	7,16 500,3	8,50 405,8	8,50 405,6	1,85 2219,6	23,87 80,1
12/09/05 00:30	11,2	43	1,90 2167,4	NC	7,16 500,3	8,50 405,8	8,50 405,6	1,85 2219,6	23,87 80,1
06/02/07 08:30	81,3	46	68,46 32,8	57,78 20,4	65,83 30,1	66,01 30,3	65,93 30,2	38,48 19,6	43,32 6,2
12/09/05 05:30	32,4	50,6	21,44 136,0		24,66 105,2	24,44 107,1	24,25 108,7	9,42 437,4	28,59 77,0
08/03/05 13:30	11,0	56	1,72 3153,9		7,00 699,9	8,36 569,8	8,37 569,3	1,80 3005,3	23,83 135,0
28/03/06 16:30	33,6	56	22,57 148,1		25,66 118,2	25,39 120,6	25,19 122,3	9,96 462,5	28,88 93,9
02/03/05 16:45	35,5	56,5	24,36 131,9		27,24 107,4	26,91 110,0	26,71 111,6	10,83 421,7	29,35 92,5
08/12/06 09:00	64,3	72	51,95 38,6		51,44 40,0	51,03 41,1	50,84 41,6	26,87 167,9	37,49 92,1
11/12/06 18:00	77,6	92	64,86 41,8		62,69 46,8	62,71 46,7	62,60 47,0	35,83 156,8	41,98 119,2
11/03/06 20:00	55,4	93	43,37 114,5		43,93 111,7	43,38 114,4	43,16 115,5	21,40 334,7	34,76 167,6
05/02/07 19:00	201	103	187,18 45,2			180,94 43,4	183,01 44,0	153,69 33,3	119,82 14,5
15/09/05 07:30	14,43	130	4,78 2621,0			10,79 1105,0	10,75 1109,4	2,73 4658,9	24,54 429,8
05/02/07 12:00	290	155	277,08 44,2			273,35 43,5	278,13 44,5	269,29 42,6	255,31 39,5
29/03/06 04:30	105	158	91,68 72,3			87,60 80,4	87,76 80,0	56,91 177,6	52,98 198,2
05/02/07 22:00	230	162	216,69 25,5			210,88 23,4	213,75 24,4	189,30 14,7	153,75 5,0
09/03/05 13:00	139	162	125,27 29,3			119,71 35,3	120,40 34,6	87,41 85,3	70,74 129,0
28/03/06 20:30	90,4	164	77,35 112,0			74,21 121,0	74,21 121,0	45,26 262,4	46,80 250,4
13/09/05 07:00	100,3	175	87,06 101,0			83,26 110,2	83,37 109,9	53,06 229,8	50,91 243,7
10/03/06 15:00	13,3	176	3,76 4579,0			9,98 1663,4	9,96 1667,8	2,41 7199,0	24,30 624,2
05/02/07 10:30	416	206	405,80 49,4				420,61 51,1	467,70 56,1	745,08 72,4
10/12/06 10:30	306	299	293,35 1,9				295,76 1,1	292,36 2,3	292,51 2,2
09/12/06 16:30	459	348	450,03 22,7				470,92 26,1	543,66 36,0	1073,84 67,6
09/12/06 11:30	354	387	342,29 13,1					365,37 5,9	439,88 12,0
09/12/06 19:30	568	496	562,68 11,9					753,20 34,1	2712,15 81,7
09/12/06 08:30	608	542	604,19 10,3					835,85 35,2	3810,43 85,8
08/03/05 19:23	240	560	226,45 147,3					201,60 177,8	166,92 235,5
10/03/06 21:00	548	645	541,96 19,0					713,00 9,5	2288,14 71,8

NC – Não calculado pelo modelo.

Ao se representar graficamente os valores de CSS amostrados e os valores calculados pelos modelos (figuras 5.32 e 5.33), observa-se que a maioria dos dados não se estão sobre a linha de ajuste ideal (linha ideal), ficando abaixo desta. Isto indica que os modelos estão subestimando os valores das concentrações, principalmente para aquelas inferiores a 200mg/L. Além disso, os modelos apresentam faixas de concentração ou turbidez nas quais estes são válidos. Por esta razão que o gráfico da CSS2 apresentou apenas dois valores possíveis de previsão.

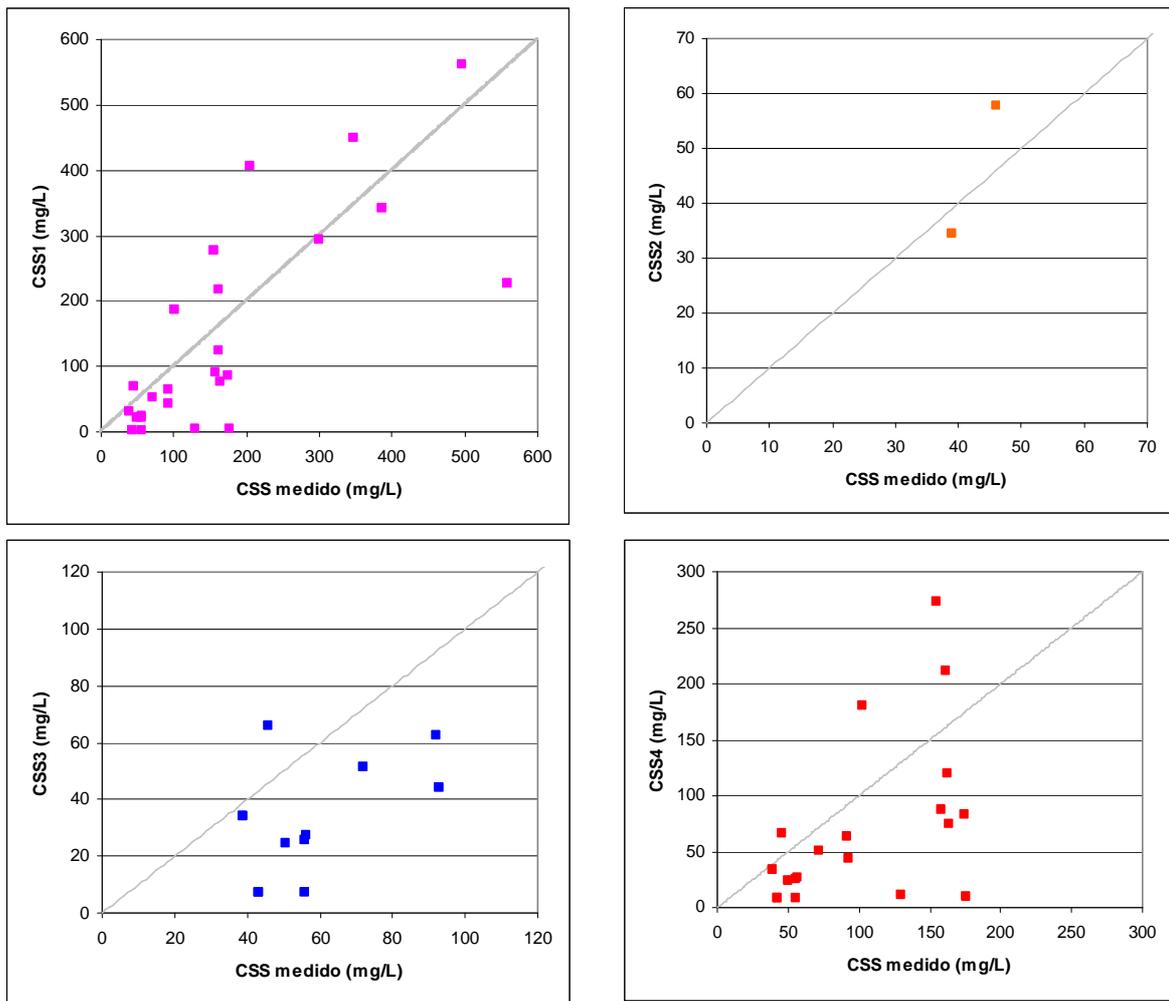


FIGURA 5.32 – Relação entre CSS medido e CSS calculado pelos modelos 1 a 4.

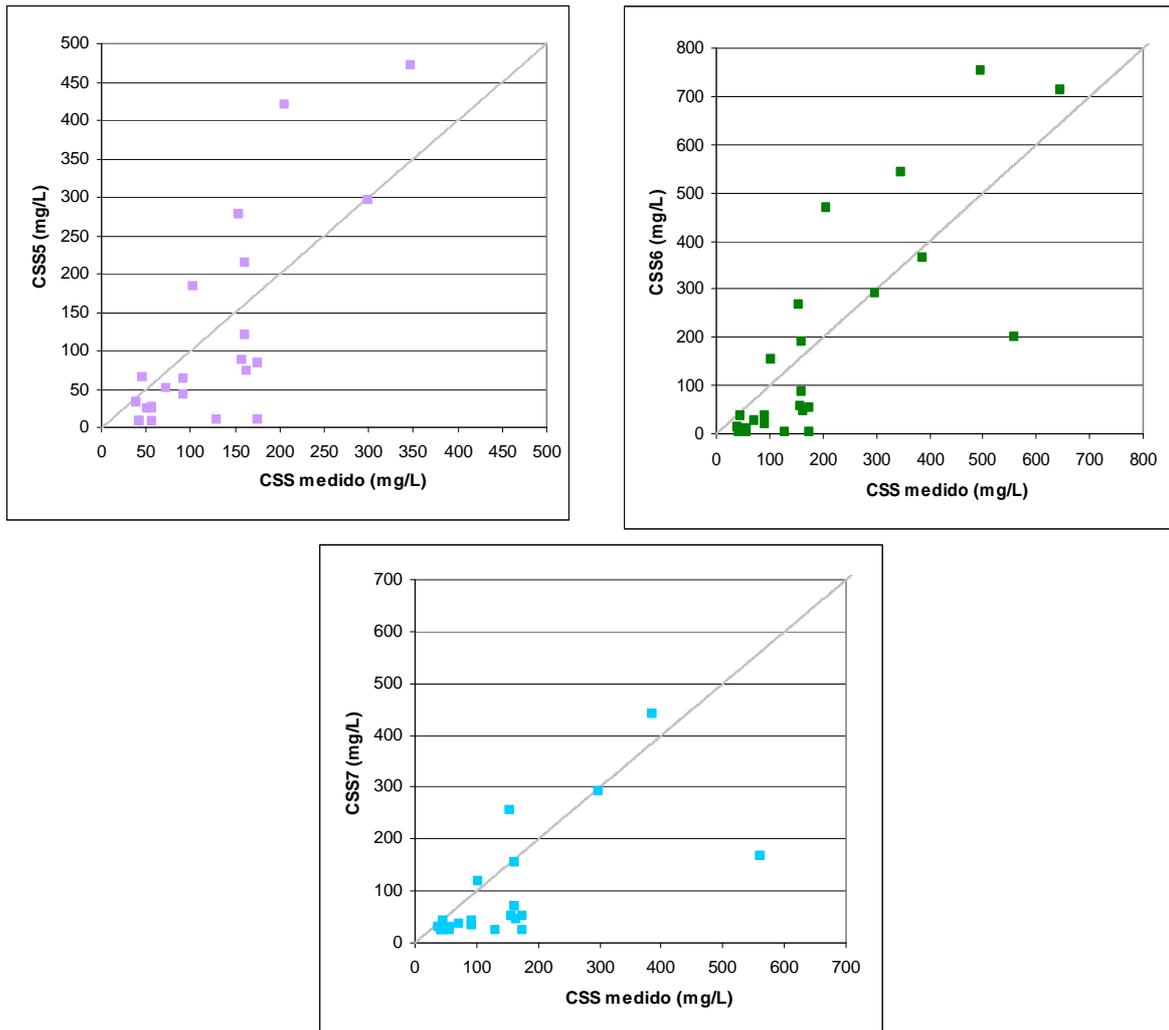


FIGURA 5.33 – Relação entre CSS medido e CSS calculado pelos modelos 5 a 7.

Com o intuito de se verificar algum tipo de correlação entre os dados obtidos das amostras, preparou-se o gráfico da figura 5.34 e, ao se aplicar diversos tipos de curvas, resultou que uma reta se ajusta de modo mais adequado ao conjunto de dados disponíveis, apresentando coeficiente de correlação R^2 de 0,69. Usualmente, a relação de CSS e turbidez não se apresenta por meio de retas. Deste modo, deve-se empregá-la com os devidos cuidados, sobretudo para valores de concentração maiores que 200mg/L, nos quais os dados apresentaram maior dispersão. Deve-se ressaltar que a quantidade de dados empregados são baixas, portanto a ajuste é apenas indicativo de tendência.

Representando graficamente os valores de CSS amostrados e os valores calculados pela reta ajustada (figura 5.35), nota-se que a maioria dos dados se dispersam no entorno da linha de ajuste ideal (linha diagonal). Todavia, ao ser analisar a tabela 5.12, que contém os

cálculos dos erros percentuais relativos, verifica-se que há uma grande amplitude de variação, com um intervalo de -177,5% a 59,4%. Na distribuição de frequência de erros, observa-se que a faixa de 25 a 50% contém 10 elementos, representando 34% do total de amostras.

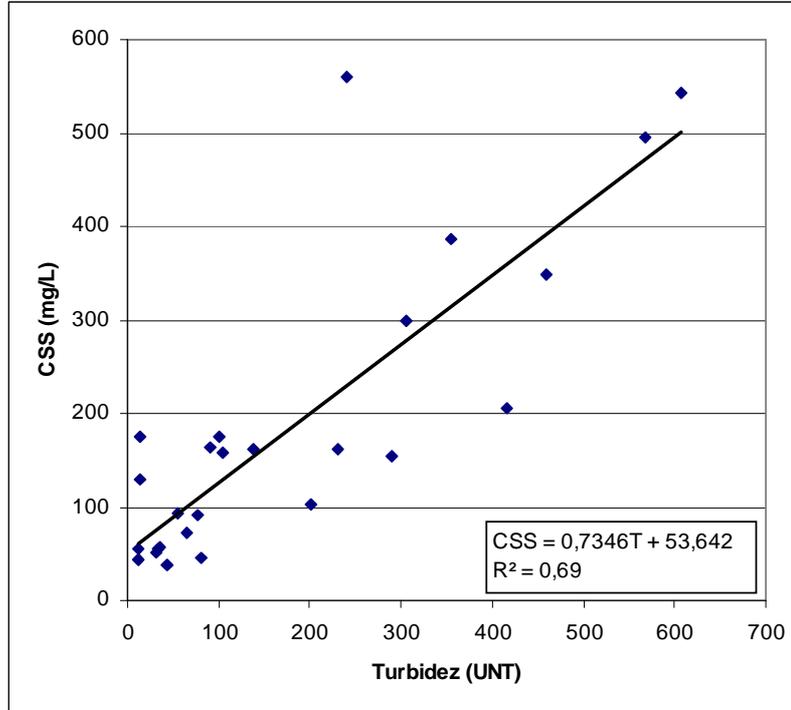


FIGURA 5.34 – Relação entre turbidez e CSS das amostras.

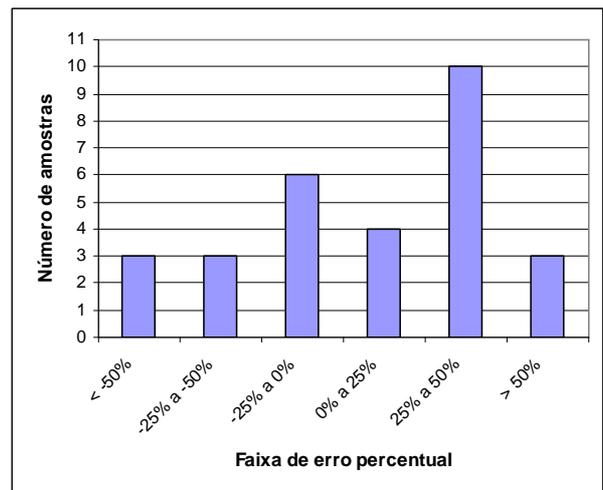
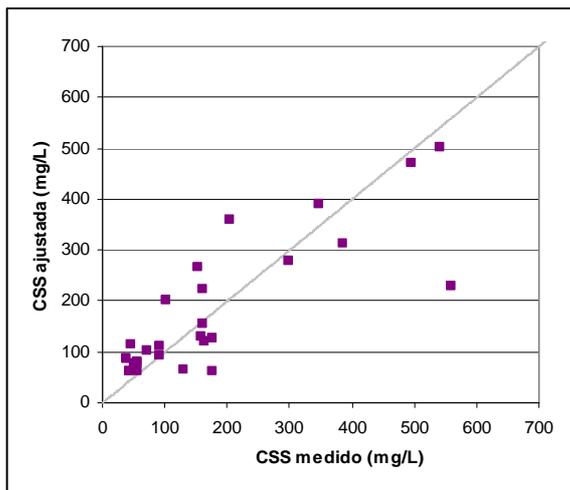


FIGURA 5.35 – Relação entre CSS medido e CSS calculado pela reta de ajuste e a distribuição de frequência de erros relativos.

TABELA 5.12 - Resultados da equação da reta de ajuste de CSS em função da turbidez.

Data Horário	Turbidez UNT	CSS medido (mg/L)	CSS ajustada (mg/L)	Erro Relativo (%)
04/02/07 13:00	43,4	39	85,54	54,4%
05/02/07 02:30	43,4	39	85,54	54,4%
11/09/05 07:00	11,2	43	61,86	30,5%
12/09/05 00:30	11,2	43	61,86	30,5%
06/02/07 08:30	81,3	46	113,36	59,4%
12/09/05 05:30	32,4	50,6	77,44	34,7%
08/03/05 13:30	11,0	56	61,72	9,3%
28/03/06 16:30	33,6	56	78,32	28,5%
02/03/05 16:45	35,5	56,5	79,72	29,1%
08/12/06 09:00	64,3	72	100,87	28,6%
11/12/06 18:00	77,6	92	110,64	16,9%
11/03/06 20:00	55,4	93	94,33	1,4%
05/02/07 19:00	201	103	201,29	49,1%
15/09/05 07:30	14,43	130	64,24	-102,4%
05/02/07 12:00	290	155	266,67	42,1%
29/03/06 04:30	105	158	130,77	-20,8%
05/02/07 22:00	230	162	222,84	27,5%
09/03/05 13:00	139	162	155,75	-4,0%
28/03/06 20:30	90,4	164	120,04	-36,6%
13/09/05 07:00	100,3	175	127,32	-37,4%
10/03/06 15:00	13,3	176	63,41	-177,5%
05/02/07 10:30	416	206	359,23	42,8%
10/12/06 10:30	306	299	278,42	-7,4%
09/12/06 16:30	459	348	390,82	11,0%
09/12/06 11:30	354	387	313,69	-23,4%
09/12/06 19:30	568	496	470,89	-5,3%
09/12/06 08:30	608	542	500,27	-8,3%
08/03/05 19:23	240	560	229,94	-143,5%
10/03/06 21:00	548	645	456,20	-41,4%

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 Conclusões

- 1) A bacia do Rio Taquarizinho, a montante da seção de estudo, apresenta-se relativamente vulnerável, visto que ao longo de diversos trechos junto às margens foram encontrados locais desguarnecidos de vegetação primária ou replantada. Ademais, dentro da calha principal do rio, foi constatado que desde sua região de nascente até a seção de estudo, existe areias depositadas no leito, diminuindo a seção molhada. O próprio rio se torna um fornecedor de sedimentos a jusante, uma vez que este material é carregado mesmo em fluxo de escoamento de base.
- 2) A metodologia empregada na coleta de amostras se mostrou dispendiosa no sentido em que se impõe a presença de um operador com um mínimo de conhecimentos técnicos e disponível integralmente para que efetue as coletas nos diferentes horários do dia e sob condições climáticas adversas. Por outro lado, permite acompanhar integralmente o evento na subida, pico e recessão do evento de cheia.
- 3) Uma grande dificuldade enfrentada neste estudo foi a carência de dados históricos sedimentométricos desta bacia. Não há uma base de dados para que se possa confrontar a evolução temporal do aporte de sedimentos em face às grandes modificações dos usos e ocupação dos solos. Todas as análises efetuadas foram no sentido de caracterizar quantitativamente os períodos em que se efetuaram as coletas de amostras. A extrapolação destes dados para períodos anteriores pode gerar conclusões inadequadas.
- 4) O acompanhamento linimétrico tradicional se mostrou inadequado e inviável ao objetivo do estudo proposto, uma vez que durante o intervalo de 7 e 17 horas as variações ocorridas podem ser muito grandes. Esta bacia hidrográfica necessita de registradores automáticos instalados nas seções de interesses, com intervalos de registros não superiores a uma hora. Por outro lado, nas épocas secas do ano, o acompanhamento tradicional ainda se mostra apropriado.

- 5) A curva-chave desenvolvida para a determinação das vazões líquidas por meio dos dados de cotas obtidos do linígrafo apresentou um coeficiente de correlação relativamente baixo ($R^2 = 0,56$). Na ausência de método mais preciso, empregou-se tal curva para se obter as descargas ao longo dos seis eventos monitorados.
- 6) A escolha de um equipamento de medição, ou de amostragem de sedimento, é sempre dependente das finalidades dos estudos, dos recursos humanos e financeiros, dos diversos equipamentos disponíveis, do porte do curso d'água, da quantidade da descarga sólida a medir, bem como de outras variáveis ou exigências. Ressalta-se que se deve concentrar esforços no desenvolvimento de equipamento de medição apropriado às condições extremas enfrentadas em campo tais como medições noturnas, sob chuva, com presença de materiais lenhosos no fluxo do rio, entre outros.
- 7) A determinação do coeficiente de Manning por meio do modelo que utiliza o diâmetro característico no qual 90% da mistura é mais fina se mostrou satisfatória. No entanto, deve-se atentar para as suas limitações de uso e efetuar maiores quantidades de amostragem para corroborar sua ampla utilização.
- 8) Apesar da pequena quantidade de amostras para confecção da curva-chave de sedimentos (37 dados), esta se mostrou relativamente bem ajustada ($R^2 = 0,72$). Entretanto, requer-se atenção para extrapolar dados com valores de vazão acima de $5\text{m}^3/\text{s}$.
- 9) Quando se trata de valores médios em eventos de onda de cheia, algumas relações mostram uma tendência de comportamento. Neste sentido, a concentração de pico do evento (CPE) denota relação com a concentração média (CME). Ainda, aquela apresenta proporcionalidade com a descarga sólida em suspensão média (QssME). Contudo, a relação que tem mais aplicabilidade prática, envolvendo a vazão média do evento (QME) e a QssME, não apresentou um coeficiente de correlação satisfatório ($R^2 = 0,65$). Pondera-se que a quantidade de eventos analisados (seis eventos) é bastante reduzida. Assim, todas essas relações ora propostas são apenas de caráter indicativo de tendência, os quais demandam posteriores estudos.
- 10) Quanto à ocorrência de carga de primeira lavagem, nenhum evento apontou evidências em quaisquer dos métodos de composição das curvas acumuladas (CCSs e amostras). De fato, o fenômeno de carga de primeira lavagem é mais comum para

ambientes urbanos e com parâmetros não-particulados. Todavia, a quantidade de eventos analisados é insuficiente para se afirmar que este fenômeno não ocorre na seção em estudo, em alguma época chuvosa do ano hidrológico.

- 11) Diante dos resultados apresentados de descarga sólida total (suspensão e arraste) e de produção específica, pode-se admitir que a bacia se encontra abaixo dos padrões esperados de produção e transporte de sedimentos. Não obstante, deve-se ressaltar que se trata de uma estimativa, já que a quantidade de dados analisados é insuficiente para que se assegure com precisão os valores de descarga de sedimentos. Ademais, os padrões referenciais estipulam valores gerais das diversas bacias hidrográficas estudadas.
- 12) Como foi observado em campo, o transporte de sedimento em suspensão praticamente só se processa na ocorrência de evento chuvoso. Pode-se afirmar isso, visto as baixas concentrações encontradas nas amostras de fluxo de base e na permanência de vazões determinadas para alguns anos. Deste modo, a intensidade de amostragem deve ser concentrada no período mais úmido da bacia, caso seja de interesse monitorar o sedimento em suspensão.

6.2 Recomendações

- 1) Devido à escassez de recursos financeiros para instalação e operação de um posto sedimentométrico, é interessante a utilização da automação dos equipamentos e o desenvolvimento de modelos de previsão de aporte baseados em parâmetros de fácil obtenção. Neste caso, a turbidez se mostra propensa para estimar a concentração de sedimentos em suspensão. Recomenda-se estudos posteriores focados no aprimoramento deste modelo.
- 2) Recomenda-se também o desenvolvimento da correlação entre amostras coletadas pontual e instantaneamente com aquelas de integração na vertical, em rios de planalto, sob eventos chuvosos.
- 3) No ensaio de peneiramento de materiais de fundo, recomenda-se utilizar o maior número de peneiras possível, desde que abarquem as granulometrias de interesse. Nesse sentido, sugere-se que seja também determinado as frações granulométricas em suspensão, utilizando-se os métodos de análises adequadas para cada

concentração da mistura. Propõe-se efetuar análises de mineralogia, no intuito de identificar com maior precisão as regiões de contribuições das frações de sedimentos.

- 4) Devido à grande dispersão da faixa de dados empregados na confecção da curva-chave de sedimentos, recomenda-se que seja efetuada maior quantidade de coletas nos eventos chuvosos de maior porte.
- 5) Recomenda-se o desenvolvimento de padrões referenciais de produção de sedimentos com caráter regionalizado, estabelecendo parâmetros de comparação temporal da evolução do aporte sólido do rio.
- 6) Quanto aos resultados da relação da turbidez e da concentração de sólidos, foi observado que a reta de ajuste não expressa adequadamente os valores de concentração. Contudo, há indicativo de que existe uma relação entre os parâmetros. Recomenda-se, para trabalhos futuros, avaliar também a relação com outros parâmetros que podem estar influenciando na dispersão da luz do método de análise empregado, tais como cor aparente, tipos de solos, diâmetros das partículas em suspensão.
- 7) Nos seis eventos analisados, as amostragens indicam que o pico de descarga de sedimentos em suspensão ocorreu junto ou depois do pico de vazão. Assim, recomenda-se para estudos posteriores uma amostragem mais intensa nas cotas mais elevadas (região de pico) até a porção inicial da inflexão da recessão.
- 8) Devido à grande dispersão dos valores da descarga sólida em relação à descarga líquida e ao nível d'água, recomenda-se maior número de medições nos postos sedimentométricos, para que seja estabelecida uma adequada média representativa do transporte sólido. Deve-se fazer o maior número possível de medições ou amostragens, seguindo a variação do nível d'água, tanto na subida quanto na descida. Considerando que as chuvas provocam muita erosão e, em consequência disso, muito transporte de sedimentos nos cursos d'água, um maior número de medições deve ser feito na estação úmida. No período de estiagem, quando o rio movimentava sedimento da própria calha, geralmente em pequena quantidade e com certa regularidade, as medições ou amostragens podem ser feitas ocasionalmente e com maior espaçamento.

- 9) Para a maioria dos modelos de transporte de sedimentos, é necessária uma série de parâmetros obtidos em campo: vazão, velocidade média do escoamento, área molhada da seção, largura da seção, profundidades médias nas verticais de amostragem, concentração dos sedimentos em suspensão, distribuição granulométrica do material em suspensão e de fundo, temperatura da água, peso específico da água e do sedimento, raio hidráulico, declividade da linha da água, viscosidade cinemática da água. Recomenda-se em estudos posteriores a determinação de cada um deles a fim de se melhorar as estimativas de carreamento de sedimentos.
- 10) Por fim, sugere-se que seja dada continuidade no monitoramento ora proposto, no sentido de se obter acervo histórico mínimo para descrição mais acurada dos processos hidrossedimentológicos. Um dos resultados imediatos seria a determinar os valores normais de produção de sedimentos em suspensão e de fundo com caráter regionalizado, conforme constituição dos fatores intervenientes de disponibilidade de material da bacia hidrográfica e capacidade de transporte do rio.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDON, M. M. **Os impactos ambientais no meio físico – erosão e assoreamento na bacia hidrográfica do rio Taquari, MS, em decorrência da pecuária.** São Carlos, 2004. 297p. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

APHA/AWWA/WEF. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 21.ed. Washington, D.C.: APHA/AWWA/WEF, 2005.

BACCHI, C. G. V. **Análise de modelos matemáticos na estimativa da produção de sedimentos em bacias com o auxílio de um SIG.** Campo Grande, 2007. 105p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

BORDAS, M. P. Avaliação da qualidade de uma estação fluviossedimentométrica: Aplicação ao Pantanal. In: **Desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos.** Recife: ABRH, 1995. v. 1. p. 397-402.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Bacias brasileiras do rio da Prata:** avaliações e propostas. ANA, 2001. 102p.

BRASIL. ANA/GEF/PNUMA/OEA. **Subprojeto 1.5 – Distribuição e Transporte de Agroquímicos e Metais Pesados na Bacia do Alto Paraguai.** Projeto implementação de práticas de gerenciamento integrado de bacia hidrográfica para o Pantanal e Bacia do Alto Paraguai. Relatório Final – Coord. Carlos Nobuyoshi Ide. Ações relacionadas à análise da evolução histórica das alterações qualitativas nos sedimentos, avaliação da qualidade da água e transporte de sedimentos em suspensão. Campo Grande: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2003. 295p.

BRASIL. Implementação de Práticas de Gerenciamento Integrado de Bacia Hidrográfica para o Pantanal e Bacia do Alto Paraguai. Programa de Ações Estratégicas para o Gerenciamento Integrado do Pantanal e Bacia do Alto Paraguai. **Relatório Final.** ANA/GEF/PNUMA/OEA, TODA Desenho & Arte Ltda, Brasília-DF, 2004. 316p.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, DOS RECURSOS HÍDRICOS E DA AMAZÔNIA LEGAL. **Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai – PCBAP.** Brasília: PNMA, 1997. v. 3. p. 36-48.

BRIGANTE, J.; ESPINDOLA, E. L. G. (org.) **Limnologia fluvial: um estudo no rio Mogi-Guaçu.** São Carlos: Rima, 2003.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática.** Rio de Janeiro: CPRM, 1994. 372p.

CARVALHO, N. O.; FILIZOLA JÚNIOR, N. P.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2000a. 132p.

CARVALHO, N. O.; FILIZOLA JÚNIOR, N. P.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. **Guia de práticas sedimentométricas**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2000b. 156p.

CHIEN, N.; WAN, Z. **Mechanics of sediment transport**. Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers, 1999.

CHOW, V. T. **Open Channel Hydraulics**. New York: McGraw-Hill, 1959.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. v.1. São Paulo: Edgard Blücher, 1981. 313p.

CPTEC/INPE. Disponível em: <<http://www.cptc.inpe.br/prevnum/>>. Acesso em: 13 dezembro 2005.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. Brasília, CNPS, 1999. 412p.

FLORES, A. M. F.; IDE, C. N.; SHINMA, E. A.; GONÇALVES, F. V.; BARBEDO, A. G. A.; CANALI, G. E.; PARANHOS FILHO, A. C.; VAL, L. A. A.; RONDON, M. A. C. Avaliação da perda de margem em um trecho crítico do Rio Taquari, na região do Pantanal. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. 15. Curitiba, 2003. CD-ROM. 20p.

GALDINO, S.; RISSO, A.; SORIANO, B. M. A.; VIEIRA, L. M.; PADOVANI, C. R.; POTT, A.; MELO, E. C.; ALMEIDA JÚNIOR, N. **Perdas de Solo na Bacia do Alto Taquari**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2003. 40p.

GALDINO, S.; VIEIRA, L. M.; OLIVEIRA, H.; CARDOSO, E. L. O mais longo e intenso ciclo de cheia do Pantanal. In: **Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste**. 2. Campo Grande, 2002. CD-ROM. 9p.

GODOY, J. M.; PADOVANI, C. R.; GUIMARÃES, J. R. D.; PEREIRA, J. C. A.; VIEIRA, L. M.; CARVALHO, Z. L.; GALDINO, S. Evaluation of the siltation of River Taquari, Pantanal, Brazil, through ^{210}Pb geochronology of floodplain lake sediments. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 13, n. 1, p. 71-77, 2002.

GODOY, J. M.; PADOVANI, C. R.; PEREIRA, J. C. A.; VIEIRA, L. M. Aplicabilidade da geocronologia da deposição de sedimento com ^{210}Pb como ferramenta na avaliação do assoreamento do rio Taquari, Pantanal, MS. **Revista Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1-2, p. 113-121, 1998.

GOLTERMAN, H. L.; SLY, P. G.; THOMAS, R. L. **Study of the relationship between water quality and sediment transport**. A guide for the collection and interpretation of sediment quality data. Paris: UNESCO, 1983.

GOMES, V. M.; CAMPANA, N. A. ; BERNARDES, R. S. Aspectos relativos à concentração média do evento-CME de poluentes encontrados em água de drenagem pluvial em área urbana. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2005, João Pessoa. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2005. 11p.

HENKLEIN, J. M.; COIADO, E. M. Correlações visando reduzir o número de medições fluvio-sedimentométricas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 49-59, abr/jun 1999.

HIDROWEB. **Sistemas de informações hidrológicas**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>>. Acesso em: 20 jul 2007.

IBGE. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 19 de maio de 2005.

IDE, C. N. **Qualidade da drenagem pluvial urbana**. Porto Alegre, 1984. 137p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

JULIEN, P. Y. **Erosion and sedimentation**. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.

JULIEN, P. Y. **River Mechanics**. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.

LANNA, A. E. Elementos de estatística e probabilidades. In: TUCCI, C. E.M. *et al.* (org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 2.ed., 2001. cap.4.

LEE, J. H.; BANG, K. W. Characterization of urban stormwater runoff. **Water Resources**. v. 34, n. 6, p. 1773-1780. 2000.

LEE, J. H.; BANG, K. W.; KETCHUM, L. H.; CHOE, J. S.; YU, M. J. First flush analysis of urban storm runoff. **The Science of the Total Environment**. n.293, p. 163-175, 2002.

LOBO, G. A. Medições de vazão: erros devido ao número de verticais. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 12, 1997, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABRH, 1997. 7p.

MEAKIN, P.; TAO, S.; JØSSANG, T.; SCHWARZ, K. A simulation model for meandering rivers and their associated sedimentary environments. **Physica A: Statistical and Theoretical Physics**, v. 233, n. 3-4, p. 606-618, dez. 1996.

NOVOTNY, V. Unit pollutant loads: their fit in abatement strategies. **Water Environment & Technology**. v. 4, n. 1, jan-1992, p.40-43.

OLIVEIRA, H. A. R.; IDE, C. N.; FLORES, A. M. F.; PARANHOS FILHO, A. C.; GONÇALVES, F. V.; RIBEIRO, M. L.; STEFFEN, J. L. Caracterização preliminar da qualidade da drenagem pluvial rural: Rio Taquarizinho - MS. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 16., 2005, João Pessoa - PB. **Anais...** João Pessoa: ABRH, 2005. 20p.

PADOVANI, C. R.; CARVALHO, N. O.; GALDINO, S.; VIEIRA, L. M. Produção de sedimentos da alta bacia do rio Taquari para o Pantanal. In: Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 3, 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABRH, 1998a. p. 16-24.

PADOVANI, C. R.; CARVALHO, N. O.; GALDINO, S.; VIEIRA, L. M. Deposição de sedimentos e perda de água do rio Taquari no Pantanal. In: Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 3, 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABRH, 1998b. p. 127-134.

PAIVA, E. M. C. D.; FORGIARINI, F. R.; SANTOS, F. A. Estudo Sedimentológico em Pequena Bacia Urbana. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste, 2., 2002, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande : ABRH, 2002. CD-ROM. 10p.

PARANHOS FILHO, A. C. **Análise geo-ambiental multitemporal:** o estudo de caso da região de Coxim e da bacia do Taquarizinho (MS - Brasil). Tese de Doutorado. 213p. UFPR, 2000.

PARANHOS, R. M.; PAIVA, J. B. Hydro-sedimentological monitoring in a small watershed: instrumentation and results. In: VII IAHS Scientific Assembly, 7., 2005, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** Foz do Iguaçu: IAHS, 2005. CD-ROM. 7p.

PONCE, V. M. **Impacto hidrológico e ambiental da hidrovia Paraná-Paraguai no Pantanal Matogrossense:** um estudo de referência. San Diego, California, 1995. 134p.

PORTO, M. F. A. Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas. In: TUCCI, C. E.M. *et al.* (org.) **Drenagem urbana.** Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995. cap.9

RAMOS, C. L. Erosão urbana e produção de sedimentos. In: TUCCI, C. E.M. *et al.* (org.) **Drenagem urbana.** Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995. cap.6

REDA, A. L. L.; JAQUIÊ, L. C. L. Transporte fluvial de sedimentos durante enchente rural: investigação de episódio na região do arenito Bauru.. In: Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 5., 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABRH, 2002. CD-ROM. p. 257-263.

ROCKENBACH, C. A.; MORAIS, L. F. B.; MERTEN, G. H.; REICHERT, J. M. Monitoramento hidrossedimentométrico e da qualidade da água em microbacias hidrográficas no programa RS-RURAL: uma proposta de trabalho. In: IV Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos; 2000, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: ABRH, 2000. 17p.

SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. C. **Hidrometria aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001. 372p. il. color.

SHAMS, M.; AHMADI, G.; SMITH, D. H. Computational modeling of flow and sediment transport and deposition in meandering rivers. **Advances in Water Resources**, v. 25, n. 6, p. 689-699, jun. 2002.

SHINMA, E. A. **Avaliação da qualidade das águas dos rios da bacia hidrográfica do Alto Paraguai - Pantanal**. Campo Grande, 2004. 91p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: RIMA, 2003. 138p.

SILVA, J. S. V.; ABDON, M. M.; SILVA, M. P.; ROMERO, H. R. Levantamento do desmatamento no Pantanal Brasileiro até 1990/91. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. especial, p. 1739-1745, out. 1998.

SIMONS, L. & ASSOCIATES. **Engineering analysis of fluvial system**. Fort Collins: Simons, Li & Associates, 1982. paginação irregular.

SMITH, B. P. G.; NADEN, P. S.; LEEKS, G. J. L.; WASS, P. D. The influence of storm events on fine sediment transport, erosion, and deposition within a reach of the River Swale, Yorkshire, UK. **The Science of the Total Environment**, 314-316, p.451-74, 2003.

TEIXEIRA, E.C.; PEREIRA, C. B.; CAIADO, M. A. C.; COCO, K. M.; FERNANDES, T. C. Avaliação da metodologia de determinação indireta da concentração de sólidos suspensos através da medição da turbidez na bacia do Rio Alegre – ES. In: Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 7., 2006, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ABRH-IPH-UFRGS, 2007. CD-ROM. 12p.

THOMSON, N. R.; MCBEAN, E. A.; SNODGRASS, W.; MONSTRENKO, I. B. Highway stormwater runoff quality: development of surrogate parameter relationships. **Water, Air, and Soil Pollution**, n.94, p. 307-347, 1997.

TUCCI, C. E. M. (org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade – ABRH, 1997. 943p.

TUCCI, C. E. M. **Impactos da variabilidade climática e do uso do solo sobre os recursos hídricos**. Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas: ANA, 2002. 150p.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 135-152, jan/jun 1997.

VANONI, V. A. **Sedimentation engineering**. 2. ed. New York, ASCE: 1977. 745p.

WILSON Jr., G. Movimento de sedimentos em rios brasileiros segundo Einstein: um ensaio fotográfico. In: **Caracterização quali-quantitativa da produção de sedimentos**. Santa Maria: ABRH – UFSM, 2000. p. 323-340.

WILSON Jr., G; ANDRADE, R. C. Variações morfológicas e sedimentológicas do trecho da ilha da Ferradura, no rio Paraguai. In: **Caracterização quali-quantitativa da produção de sedimentos**. Santa Maria: ABRH – UFSM, 2000. p. 341-361.

YANG, C. T. **Sediment transport: theory and practice**. Malabar, Florida: Krieger, 2003. reimpressão.

8. ANEXOS

ANEXO A – Resumo das medições de vazão

Tabela A.1 - Resumo das medições no Taquarizinho – medidos em campo

data	hora inicio	hora final	cota (m)	descarga (m ³ /s)	área molhada (m ²)	velocidade média (m/s)	largura da L.A. (m)	profundidade média (m)
14/08/04	14:00	15:30	62,0	3,46	7,64	0,45	19,60	0,39
22/08/04	14:00	15:30	61,0	3,28	6,91	0,48	19,65	0,35
20/10/04	8:00	9:30	62,5	3,32	7,03	0,47	19,55	0,36
04/03/05	15:15	15:45	57,0	3,37	8,53	0,39	20,00	0,43
06/03/05	9:45	10:10	56,0	3,28	7,90	0,41	20,00	0,40
08/03/05	15:17	15:40	61,0	4,44	8,83	0,50	20,23	0,44
08/03/05	16:40	17:03	64,0	4,96	10,03	0,49	20,23	0,50
09/03/05	2:15	3:10	60,0	6,56	13,72	0,48	20,10	0,68
09/03/05	16:30	16:52	60,0	3,90	10,99	0,35	20,15	0,55
10/03/05	10:04	10:26	50,0	4,22	10,92	0,39	20,05	0,54
05/04/05	10:26	10:50	55,5	3,51	10,00	0,35	20,90	0,48
06/04/05	11:16	11:42	55,5	3,41	10,08	0,34	20,90	0,48
15/04/05	15:35	16:00	42,0	2,89	9,23	0,31	20,35	0,45

Tabela A.2 - Resumo das medições no Taquarizinho - HIDROWEB

data	hora inicio	hora final	cota (cm)	descarga (m ³ /s)	área molhada (m ²)	velocidade média (m/s)	largura da L.A. (m)	profundidade média (m)
15/01/84	07:00	-	91	8,88	12,7	0,699	17	0,75
21/02/84	07:00	-	92	9,74	14,6	0,666	17,2	0,85
28/05/84	07:00	-	79	5,94	10,1	0,588	22,1	0,46
30/08/84	07:00	-	75	3,81	7,62	0,5	21,55	0,35
24/11/84	07:00	-	78	6,37	12	0,531	20,3	0,59
17/02/85	07:00	-	75	6,85	11,5	0,595	22,2	0,52
21/05/85	07:00	-	79	6,05	10,7	0,567	21,5	0,5
18/08/85	07:00	-	78	4,23	8,45	0,501	22,2	0,38
18/11/85	07:00	-	73	3,9	8,39	0,465	22,15	0,38
17/02/86	07:00	-	76	5,39	10,5	0,515	22,5	0,47
18/05/86	07:00	-	72	3,75	8,68	0,432	21,8	0,4
16/08/86	07:00	-	101	8,1	13,3	0,611	20,7	0,64
18/11/86	07:00	-	71	3,69	8,03	0,458	20,9	0,38
22/03/87	07:00	-	69	4,84	10,8	0,448	20,7	0,52
19/06/87	07:00	-	68	3,46	8,35	0,414	21,1	0,4
28/09/87	07:00	-	67	3,04	7	0,434	21,5	0,33
08/12/87	07:00	-	65	4,62	9,35	0,494	20,5	0,46
19/06/88	07:00	-	74	5,29	8,99	0,588	22	0,41
18/09/88	07:00	-	71	4,07	7,9	0,515	21,3	0,37
20/11/88	07:00	-	64	3,8	7,68	0,495	18,5	0,42
05/08/92	07:00	-	83	3,57	7,33	0,487	22	0,33
25/02/93	07:00	-	101	10,2	13,9	0,733	21	0,66
09/05/94	07:00	-	90	5,56	9,47	0,587	22	0,43
27/08/94	07:00	-	92	4,3	6,97	0,615	22,2	0,31
06/12/94	07:00	-	148	21,2	20,5	1,035	23	0,89

Tabela A.2 - Resumo das medições no Taquarizinho – HIDROWEB (continuação)

data	hora inicio	hora final	cota (cm)	descarga (m ³ /s)	área molhada (m ²)	velocidade média (m/s)	largura da L.A. (m)	profundidade média (m)
24/03/95	07:00	-	101	9,93	14,7	0,675	21,1	0,7
23/06/95	07:00	-	97	6,93	10,5	0,661	20,8	0,5
22/09/95	07:00	-	89	4,84	7,95	0,609	20,7	0,38
08/12/95	07:00	-	87	4,62	8,25	0,56	21	0,39
04/05/96	07:00	-	78	4,14	7,26	0,571	19,3	0,38
05/08/96	07:00	-	80	3,72	6,82	0,546	20,1	0,34
31/10/96	07:00	-	87	5,45	9,98	0,546	20,2	0,49
17/05/97	07:00	-	89	6,59	11,5	0,573	21,2	0,54
23/08/97	07:00	-	83	5,17	9,09	0,528	21	0,43
24/11/97	07:00	-	85	7,24	10,6	0,685	20,8	0,51
24/02/98	07:00	-	90	9,57	15	0,638	21,5	0,7
28/08/98	07:00	-	81	4,71	8,65	0,545	21,6	0,4
25/02/99	07:00	-	79	6,19	11,4	0,541	22,7	0,5
22/05/99	07:00	-	74	4,71	8,68	0,543	21,5	0,4
21/08/99	07:00	-	73	3,95	7,46	0,529	21,5	0,35
26/11/99	07:00	-	67	3,44	7,57	0,455	21,6	0,35
26/02/00	07:00	-	65	5,1	11,7	0,434	21,2	0,55
01/07/00	07:00	-	68	3,88	8,33	0,466	21,7	0,38
23/11/00	08:10	-	59	3,7	9,52	0,388	21	0,45
11/05/01	14:00	-	60	3,46	20,9	0,166	21,3	0,98
20/08/01	08:00	-	58	3,2	7,17	0,446	21,5	0,33
26/11/01	10:10	-	62	6,3	16,2	0,389	24	0,67
15/04/02	08:20	-	70	6,73	10,9	0,62	24,5	0,44
12/07/02	09:20	-	64	4,46	8,69	0,513	23,7	0,37
23/10/02	11:45	-	58	5,17	9,45	0,547	23,3	0,41
23/04/03	09:00	-	65	5,85	12,3	0,475	22,8	0,54
11/09/03	08:30	-	63	4,79	9,57	0,5	23	0,42
06/12/03	14:30	-	109	25,6	22,8	1,121	22,9	1
02/10/04	10:35	-	61	3,6	7,31	0,492	21	0,35
08/12/04	12:10	-	53	4,14	9,17	0,452	20,9	0,44
22/06/05	09:00	-	57	3,99	9,28	0,434	20,9	0,44
03/10/05	09:03	-	54	3,29	12,6	0,261	20,1	0,63

**ANEXO B – Dados de cota, vazão, sólidos totais, turbidez e
distribuição granulométrica**

TABELA B.1 - COTA LINIMÉTRICA

AMOSTRA	EVENTO 1		EVENTO 2		EVENTO 3		EVENTO 4		EVENTO 5		EVENTO 6	
	m	Horário										
01	0,45	02/03/05 16:45	0,48	11/09/05 07:00		-		-		-	0,63	04/02/07 13:00
01b	0,44	08/03/05 13:30	0,50	12/09/05 00:30	0,62	10/03/06 15:00	0,61	28/03/06 16:30	0,58	08/12/06 09:00	0,63	05/02/07 02:30
02	0,90	08/03/05 19:23	0,56	12/09/05 05:30	1,25	10/03/06 18:00	0,89	28/03/06 20:30	1,24	08/12/06 16:30	0,82	05/02/07 10:30
03	0,67	09/03/05 00:45	0,51	13/09/05 07:00	0,85	10/03/06 21:00	0,82	28/03/06 22:00	1,08	08/12/06 23:00	0,79	05/02/07 12:00
04	0,50	09/03/05 13:00	0,50	15/09/05 07:30	0,61	11/03/06 20:00	0,75	28/03/06 23:30	0,91	09/12/06 03:00	0,72	05/02/07 19:00
05							0,68	29/03/06 01:30	0,79	09/12/06 08:30	0,67	05/02/07 22:00
06							0,62	29/03/06 04:30	0,89	09/12/06 11:30	0,63	06/02/07 08:30
07									0,79	09/12/06 16:30		
08									0,97	09/12/06 19:30		
09									0,75	10/12/06 10:30		
10									0,62	11/12/06 18:00		

TABELA B.2 - VAZÃO

AMOSTRA	EVENTO 1		EVENTO 2		EVENTO 3		EVENTO 4		EVENTO 5		EVENTO 6	
	m ³ /s	Horário										
01	3,458	02/03/05 16:45	3,012	11/09/05 07:00	-	-	-	-	-	-	4,055	04/02/07 13:00
01b	3,305	08/03/05 13:30	3,165	12/09/05 00:30	3,963	10/03/06 15:00	4,174	28/03/06 16:30	3,608	08/12/06 09:00	4,055	05/02/07 02:30
02	10,164	08/03/05 19:23	3,834	12/09/05 05:30	15,806	10/03/06 18:00	7,994	28/03/06 20:30	15,561	08/12/06 16:30	6,589	05/02/07 10:30
03	6,076	09/03/05 00:45	3,270	13/09/05 07:00	7,039	10/03/06 21:00	6,983	28/03/06 22:00	11,467	08/12/06 23:00	6,118	05/02/07 12:00
04	3,873	09/03/05 13:00	3,165	15/09/05 07:30	3,872	11/03/06 20:00	5,905	28/03/06 23:30	7,953	09/12/06 03:00	5,138	05/02/07 19:00
05							4,914	29/03/06 01:30	6,160	09/12/06 08:30	4,574	05/02/07 22:00
06							4,206	29/03/06 04:30	7,607	09/12/06 11:30	4,086	06/02/07 08:30
07									6,076	09/12/06 16:30		
08									9,116	09/12/06 19:30		
09									5,593	10/12/06 10:30		
10									4,024	11/12/06 18:00		

TABELA B.3 - SÓLIDOS TOTAIS

AMOSTRA	EVENTO 1		EVENTO 2		EVENTO 3		EVENTO 4		EVENTO 5		EVENTO 6	
	mg/L	Horário										
01	56,5	02/03/05 16:45	43	11/09/05 07:00	-	-	-	-	-	-	39	04/02/07 13:00
01b	56	08/03/05 13:30	43	12/09/05 00:30	176	10/03/06 15:00	56	28/03/06 16:30	72	08/12/06 09:00	39	05/02/07 02:30
02	560	08/03/05 19:23	50,6	12/09/05 05:30	624	10/03/06 18:00	164	28/03/06 20:30	1020	08/12/06 16:30	206	05/02/07 10:30
03	1420	09/03/05 00:45	175	13/09/05 07:00	645	10/03/06 21:00	1120	28/03/06 22:00	886	08/12/06 23:00	155	05/02/07 12:00
04	162	09/03/05 13:00	130	15/09/05 07:30	93	11/03/06 20:00	1381	28/03/06 23:30	960	09/12/06 03:00	103	05/02/07 19:00
05							1241	29/03/06 01:30	542	09/12/06 08:30	162	05/02/07 22:00
06							158	29/03/06 04:30	387	09/12/06 11:30	46	06/02/07 08:30
07									348	09/12/06 16:30		
08									496	09/12/06 19:30		
09									299	10/12/06 10:30		
10									92	11/12/06 18:00		

TABELA B.4 - TURBIDEZ

AMOSTRA	EVENTO 1		EVENTO 2		EVENTO 3		EVENTO 4		EVENTO 5		EVENTO 6	
	UNT	Horário										
01	35,5	02/03/05 16:45	11,2	11/09/05 07:00	-	-	-	-	-	-	43,4	04/02/07 13:00
01b	11,0	08/03/05 13:30	11,2	12/09/05 00:30	13,3	10/03/06 15:00	33,6	28/03/06 16:30	64,3	08/12/06 09:00	43,4	05/02/07 02:30
02	240	08/03/05 19:23	32,4	12/09/05 05:30	8,68	10/03/06 18:00	90,4	28/03/06 20:30	999	08/12/06 16:30	416	05/02/07 10:30
03	594	09/03/05 00:45	100,3	13/09/05 07:00	548	10/03/06 21:00	99,1	28/03/06 22:00	999	08/12/06 23:00	290	05/02/07 12:00
04	139	09/03/05 13:00	14,43	15/09/05 07:30	55,4	11/03/06 20:00	999	28/03/06 23:30	999	09/12/06 03:00	201	05/02/07 19:00
05							999	29/03/06 01:30	608	09/12/06 08:30	230	05/02/07 22:00
06							105	29/03/06 04:30	354	09/12/06 11:30	81,3	06/02/07 08:30
07									459	09/12/06 16:30		
08									568	09/12/06 19:30		
09									306	10/12/06 10:30		
10									77,6	11/12/06 18:00		

Amostra fora do limite de detecção: >999 UNT

Tabela B.5 - Resultados do peneiramento para amostragens efetuadas

Data	Amostrador	Condição do escoamento	Diâmetros característicos (mm)								
			d ₅	d ₁₀	d ₁₆	d ₃₅	d ₅₀	d ₆₅	d ₈₄	d ₉₀	d ₉₅
14/8/2004 V6	copo	base	0,225	0,245	0,262	0,291	0,301	0,330	0,424	0,482	0,552
14/8/2004 V12	copo	base	0,225	0,244	0,264	0,301	0,322	0,360	0,476	0,552	0,648
14/8/2004 V18	copo	base	0,231	0,254	0,275	0,317	0,342	0,385	0,524	0,625	0,800
20/10/2004 V6	copo	base	0,231	0,253	0,273	0,308	0,332	0,372	0,505	0,600	0,753
20/10/2004 V12	copo	base	0,231	0,252	0,272	0,312	0,350	0,427	0,670	0,850	1,320
20/10/2004 V18	copo	base	0,224	0,240	0,252	0,286	0,350	0,339	0,420	0,465	0,545
09/03/2005 V01	BLM-84	recessão	0,235	0,273	0,308	0,405	0,475	0,549	0,760	0,870	1,040
09/03/2005 V02	BLM-84	recessão	0,206	0,230	0,251	0,294	0,310	0,333	0,415	0,465	0,523
09/03/2005 V03	BLM-84	recessão	0,206	0,230	0,252	0,303	0,344	0,399	0,502	0,555	0,603
09/03/2005 V04	BLM-84	recessão	0,185	0,200	0,214	0,252	0,288	0,359	0,524	0,610	0,760
09/03/2005 V05	BLM-84	recessão	0,207	0,234	0,260	0,337	0,402	0,475	0,577	0,638	0,730
09/03/2005 V06	BLM-84	recessão	0,187	0,204	0,220	0,279	0,333	0,397	0,535	0,600	0,710
09/03/2005 V07	BLM-84	recessão	0,252	0,295	0,336	0,448	0,523	0,620	0,820	0,930	1,040
09/03/2005 V08	BLM-84	recessão	0,242	0,277	0,314	0,408	0,475	0,548	0,710	0,830	1,020
09/03/2005 V09	BLM-84	recessão	0,327	0,388	0,425	0,545	0,605	0,690	0,870	1,000	1,190
09/03/2005 V10	BLM-84	recessão	0,247	0,290	0,335	0,405	0,442	0,500	0,630	0,740	0,900
09/03/2005 V11	BLM-84	recessão	0,267	0,318	0,362	0,450	0,512	0,592	0,770	0,880	1,090
03/04/2005 V3	copo	base	0,268	0,322	0,368	0,485	0,563	0,640	0,820	0,940	1,080
03/04/2005 V6	copo	base	0,218	0,275	0,323	0,430	0,495	0,538	0,668	0,760	0,880
03/04/2005 V9	copo	base	0,215	0,249	0,288	0,384	0,450	0,500	0,595	0,682	0,780
10/03/2005 V01	BLM-84	base	0,152	0,200	0,273	0,389	0,429	0,504	0,708	0,880	1,100
10/03/2005 V02	BLM-84	base	0,141	0,197	0,259	0,392	0,462	0,540	0,725	0,830	0,980
10/03/2005 V03	BLM-84	base	0,143	0,209	0,278	0,412	0,482	0,564	0,745	0,860	1,120
10/03/2005 V04	BLM-84	base	0,143	0,343	0,442	0,545	0,642	0,770	0,940	1,110	1,170
10/03/2005 V05	BLM-84	base	0,139	0,195	0,232	0,318	0,378	0,443	0,565	0,645	0,760
10/03/2005 V06	BLM-84	base	0,139	0,198	0,244	0,365	0,440	0,539	0,755	0,880	1,040
10/03/2005 V07	BLM-84	base	0,147	0,194	0,233	0,339	0,390	0,460	0,632	0,735	0,875
10/03/2005 V08	BLM-84	base	0,147	0,193	0,229	0,306	0,359	0,415	0,555	0,670	0,830
10/03/2005 V09	BLM-84	base	0,147	0,199	0,253	0,430	0,520	0,585	0,720	0,800	0,920
10/03/2005 V10	BLM-84	base	0,146	0,193	0,244	0,288	0,338	0,392	0,540	0,655	0,810
10/03/2005 V11	BLM-84	base	0,120	0,153	0,192	0,248	0,267	0,283	0,311	0,353	0,520
04/04/2005 V01	BLM-84	base	0,300	0,391	0,478	0,725	0,955	1,270	1,620	1,730	1,850
04/04/2005 V02	BLM-84	base	0,282	0,360	0,428	0,670	0,800	0,940	1,160	1,350	1,810
04/04/2005 V03	BLM-84	base	0,123	0,174	0,232	0,415	0,575	0,770	1,080	1,280	1,570
04/04/2005 V04	BLM-84	base	0,222	0,249	0,280	0,353	0,397	0,445	0,518	0,540	0,610
04/04/2005 V05	BLM-84	base	0,275	0,374	0,505	0,910	1,130	1,270	1,530	1,670	1,830
04/04/2005 V06	BLM-84	base	0,365	0,418	0,470	0,595	0,750	0,970	1,380	1,590	1,790
04/04/2005 V07	BLM-84	base	0,235	0,284	0,327	0,440	0,555	0,720	0,970	1,060	1,220
04/04/2005 V08	BLM-84	base	0,354	0,400	0,455	0,610	0,698	0,770	0,880	0,940	1,030
04/04/2005 V09	BLM-84	base	0,352	0,387	0,410	0,485	0,555	0,650	0,965	1,160	1,430
04/04/2005 V10	BLM-84	base	0,284	0,353	0,384	0,438	0,465	0,490	0,530	0,550	0,575

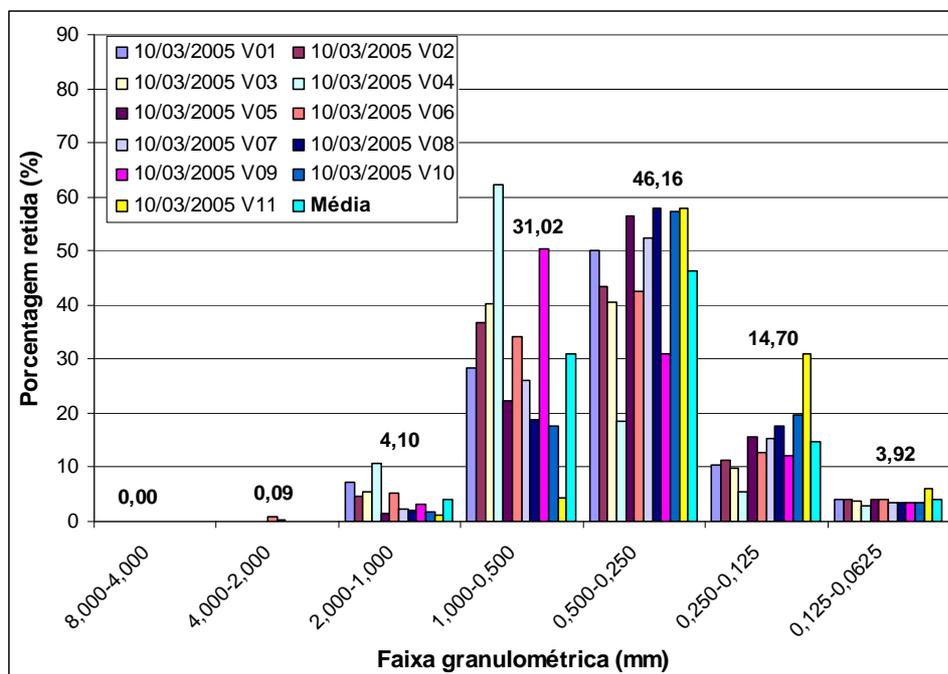


FIGURA B.1 – Distribuição granulométrica (BLM-84) do dia 10/03/2005.

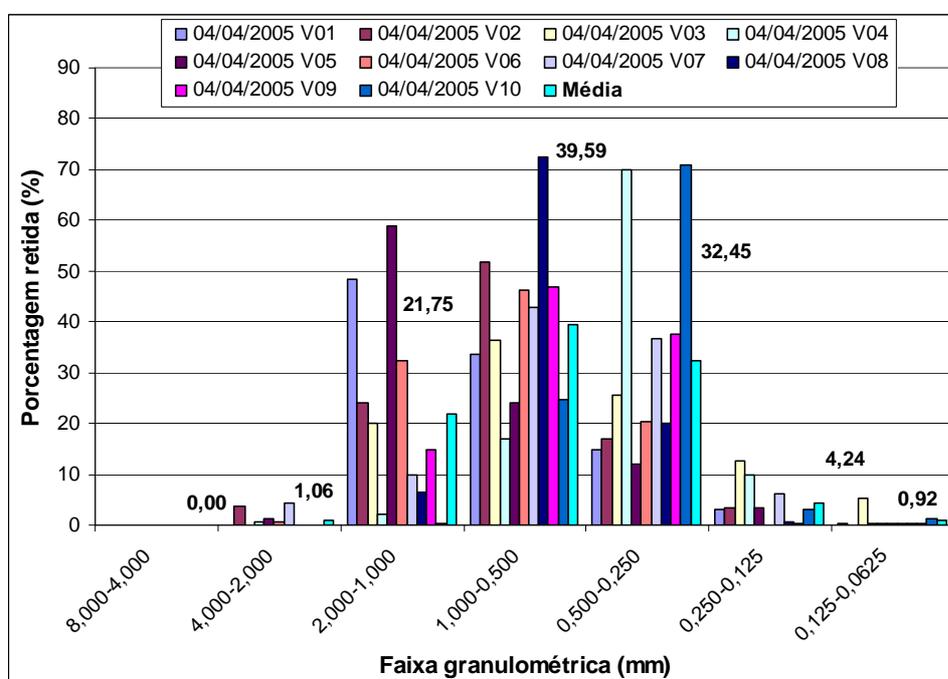


FIGURA B.2 – Distribuição granulométrica (BLM-84) do dia 04/04/2005.

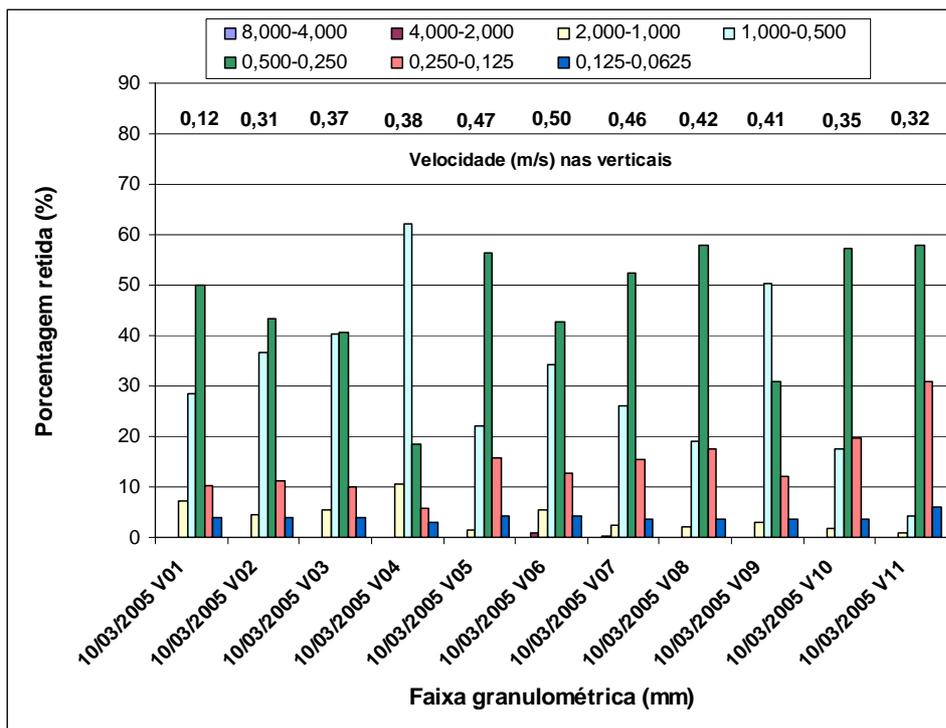


FIGURA B.3 – Distribuição granulométrica (BLM-84) por verticais do dia 10/03/2005.

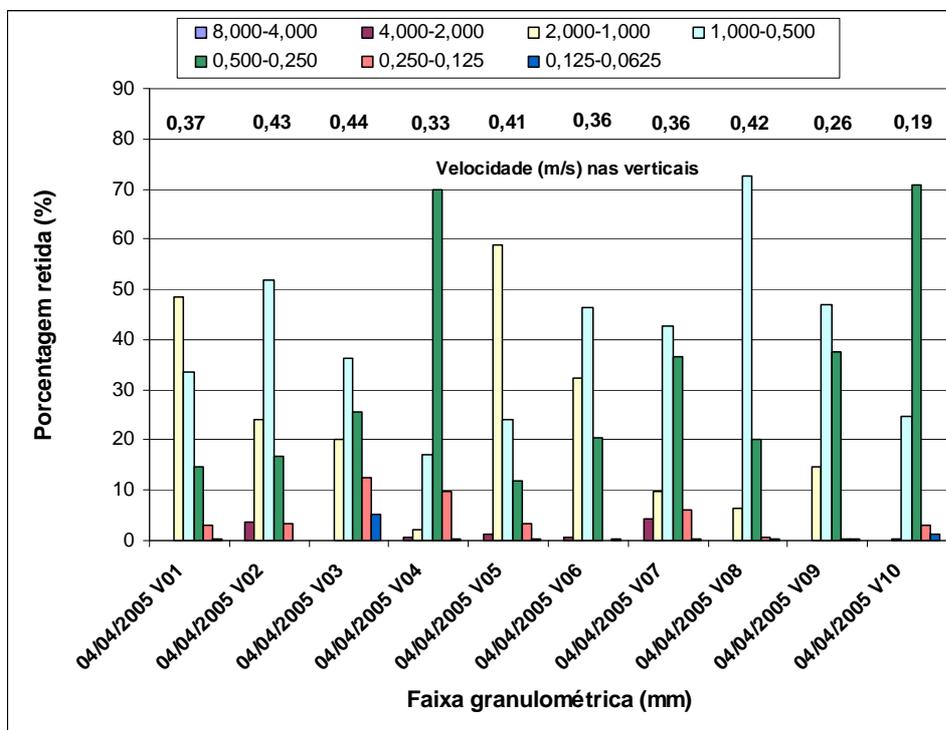


FIGURA B.4 – Distribuição granulométrica (BLM-84) por verticais do dia 04/04/2005.

ANEXO C – Cálculo da descarga sólida em suspensão para os eventos

Tabela C.2 - Planilha de vazão e cálculo da descarga sólida de leito

DHT / CCET / UFMS			RIO: Taquarizinho - seção da ANA										TIPO DE MEDIÇÃO											
PROJETO:			LOCAL:					Lat.:					Long.:				Cabo / Barco / Molinete							
H. Início:			10:04					Cota Inicial (m): 0,62					Peso do Lastro (kg):				DATA : 10/3/2005							
H. Final:			10:26					Cota final (m):					Altura da Haste (m):				Medição Nº :							
Duração:			00:22					Cota Média (m):									Planilha Nº :							
Molinete: A. OTT - 15973			Hélice: 4-8					Equação do Molinete: $V = 0,1351 \times N + 0,0248$					Método da meia seção				Largura do bocal (m)							
Descarga (m³/s)			Area (m²)					Velocidade Média (m/s)					Largura (m)				Profundidade Média (m)				Tempo de medida (s)			
4,22			10,92					0,39					20,05				0,54				0,0762			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	600				
Vertical	Abcissa (m)	Profund. (m)	Largura (m)	Posição (0,20 (m)	Posição (0,2h) (m)	Posição (0,4h) (m)	Posição (0,6h) (m)	Posição (0,8h) (m)	Posição de fundo (m)	Velocidade 0,20 (m) (m/s)	Velocidade 0,2h) (m/s)	Velocidade 0,4h) (m/s)	Velocidade 0,6h) (m/s)	Velocidade 0,8h) (m/s)	Velocidade de fundo (m)	Vel. na vertical (m/s)	Vel. vertical X Profundidade	Area (m²)	Descarga (m³/s)	Er				
P.I.	ME																				1,00		1,00	
I.A.	0,00	0,00																			Li (m)	P seco i (kg)	qsa i (kg/(s.m))	li x (qsa i + qsa i + 1)/2
1	0,65	0,41	1,28				0,25			0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,12	0,05	0,52	0,06	1,6	0,00306	0,0006693	5,35433E-05	
2	2,55	0,52	1,90				0,31			0,00	0,00	0,00	0,31	0,00	0,00	0,31	0,16	0,99	0,31	1,9	0,01320	0,00028871	0,000337861	
3	4,45	0,52	1,90				0,31			0,00	0,00	0,00	0,37	0,00	0,00	0,37	0,19	0,99	0,37	1,9	0,02306	0,00050437	0,000753434	
4	6,35	0,58	1,90				0,35			0,00	0,00	0,00	0,38	0,00	0,00	0,38	0,22	1,10	0,42	1,9	0,07704	0,00168504	0,002079943	
5	8,25	0,57	1,90				0,34			0,00	0,00	0,00	0,47	0,00	0,00	0,47	0,27	1,08	0,51	1,9	0,06245	0,00136592	0,002898414	
6	10,15	0,62	1,90		0,12			0,50		0,00	0,52	0,00	0,00	0,48	0,00	0,50	0,31	1,18	0,59	1,9	0,09199	0,00201203	0,003209055	
7	12,05	0,43	1,90				0,26			0,00	0,00	0,00	0,46	0,00	0,00	0,46	0,20	0,82	0,38	1,9	0,09116	0,00199388	0,003269105	
8	13,95	0,60	1,90		0,12			0,48		0,00	0,49	0,00	0,00	0,35	0,00	0,42	0,25	1,14	0,48	1,9	0,06617	0,00144729	0,003030359	
9	15,85	0,56	1,90				0,34			0,00	0,00	0,00	0,41	0,00	0,00	0,41	0,23	1,06	0,44	1,9	0,07967	0,00174256	0,002919401	
10	17,75	0,60	1,90		0,12			0,48		0,00	0,42	0,00	0,00	0,27	0,00	0,35	0,21	1,14	0,39	1,9	0,06083	0,00133049	0,001307393	
11	19,65	0,78	1,15		0,16			0,62		0,00	0,33	0,00	0,00	0,30	0,00	0,32	0,25	0,90	0,28	1,35	0,00209	0,00004571	3,08563E-05	
F.A.	20,05	0,77																						

Qsa (t/dia)	1,6826
Qsa (kg/s)	0,0195
Qss (t/dia)	12,75436858
Relação Qsa/Qss	0,131926582

ANEXO D – Cálculo do deflúvio sólido em suspensão médio

Curva de permanência HIDROWEB para os anos de 1984 a 2005 (vazões médias diárias)

0,6411Q2,0776

Porcentagem do tempo %	Vazão igualada ou excedida m³/s	Intervalo entre porcentagens sucessivas	Vazão média do intervalo m³/s	Descarga sólida total t/dia	Descarga sólida média t/dia	Vazão média x intervalo	Descarga sólida média x intervalo
0	31,5			831,4110			
1	31,5	1	31,5	831,4110	831,4110	0,32	8,3141
2	20,4	1	25,95	337,1424	584,2767	0,26	5,8428
3	15,3	1	17,85	185,4559	261,2992	0,18	2,6130
4	12,7	1	14	125,9472	155,7015	0,14	1,5570
5	12,6	1	12,65	123,8955	124,9213	0,13	1,2492
6	12,5	1	12,55	121,8614	122,8784	0,13	1,2288
7	12,4	1	12,45	119,8447	120,8530	0,12	1,2085
8	12,3	1	12,35	117,8454	118,8450	0,12	1,1885
9	12,2	1	12,25	115,8636	116,8545	0,12	1,1685
10	12,1	1	12,15	113,8992	114,8814	0,12	1,1488
11	11,9	1	12	110,0227	111,9609	0,12	1,1196
12	11,8	1	11,85	108,1105	109,0666	0,12	1,0907
13	11,7	1	11,75	106,2157	107,1631	0,12	1,0716
14	11,6	1	11,65	104,3383	105,2770	0,12	1,0528
15	11,5	1	11,55	102,4782	103,4083	0,12	1,0341
20	11	5	11,25	93,4379	97,9581	0,56	4,8979
30	10	10	10,5	76,6524	85,0452	1,05	8,5045
40	8,98	10	9,49	61,2989	68,9757	0,95	6,8976
50	7,96	10	8,47	47,7159	54,5074	0,85	5,4507
60	6,93	10	7,445	35,7794	41,7476	0,74	4,1748
70	5,91	10	6,42	25,7025	30,7410	0,64	3,0741
80	4,89	10	5,4	17,3394	21,5210	0,54	2,1521
90	3,86	10	4,375	10,6077	13,9735	0,44	1,3974
100	2,84	10	3,35	5,6071	8,1074	0,34	0,8107

Vazão média diária m³/s	Descarga sólida média diária t/dia
8,33	68,2478

descarga anual	24.910,43
área da bacia (km²)	494,7
produção específica (t/(km².ano))	50,35

Curva de permanência HIDROWEB para os anos de 2004 a 2005 (vazões médias diárias)

0,6411Q2,0776

Porcentagem do tempo %	Vazão igualada ou excedida m³/s	Intervalo entre porcentagens sucessivas	Vazão média do intervalo m³/s	Descarga sólida total t/dia	Descarga sólida média t/dia	Vazão média x intervalo	Descarga sólida média x intervalo
0	10,6			86,5170			
1	10,6	1	10,6	86,5170	86,5170	0,11	0,8652
2	8,15	1	9,375	50,1126	68,3148	0,09	0,6831
3	7,08	1	7,615	37,4072	43,7599	0,08	0,4376
4	6,22	1	6,65	28,5828	32,9950	0,07	0,3299
5	5,96	1	6,09	26,1564	27,3696	0,06	0,2737
6	5,69	1	5,825	23,7546	24,9555	0,06	0,2496
7	5,46	1	5,575	21,8030	22,7788	0,06	0,2278
8	5,44	1	5,45	21,6374	21,7202	0,05	0,2172
9	5,41	1	5,425	21,3903	21,5139	0,05	0,2151
10	5,38	1	5,395	21,1446	21,2674	0,05	0,2127
11	5,36	1	5,37	20,9816	21,0631	0,05	0,2106
12	5,33	1	5,345	20,7384	20,8600	0,05	0,2086
13	5,3	1	5,315	20,4966	20,6175	0,05	0,2062
14	5,28	1	5,29	20,3362	20,4164	0,05	0,2042
15	5,25	1	5,265	20,0969	20,2165	0,05	0,2022
20	5,12	5	5,185	19,0768	19,5868	0,26	0,9793
30	4,85	10	4,985	17,0460	18,0614	0,50	1,8061
40	4,63	10	4,74	15,4788	16,2624	0,47	1,6262
50	4,5	10	4,565	14,5895	15,0341	0,46	1,5034
60	4,37	10	4,435	13,7275	14,1585	0,44	1,4158
70	4,25	10	4,31	12,9559	13,3417	0,43	1,3342
80	4,12	10	4,185	12,1461	12,5510	0,42	1,2551
90	3,99	10	4,055	11,3634	11,7547	0,41	1,1755
100	3,86	10	3,925	10,6077	10,9855	0,39	1,0986

Vazão média diária m³/s	Descarga sólida média diária t/dia
4,73	16,9379

descarga anual	6.182,34
área da bacia (km²)	494,7
produção específica (t/(km².ano))	12,50

Curva de permanência para o ano de 2005 (vazões a cada 30min)

0,6411Q2,0776

Porcentagem do tempo %	Vazão igualada ou excedida m ³ /s	Intervalo entre porcentagens sucessivas	Vazão média do intervalo m ³ /s	Descarga sólida total t/dia	Descarga sólida média t/dia	Vazão média x intervalo m ³ /s	Descarga sólida média x intervalo t/dia
0	51,16			2277,1931			
0,05	32,27	0,05	41,715	874,1914	1575,6922	0,02	0,7878
0,1	29,49	0,05	30,88	724,9734	799,5824	0,02	0,3998
0,2	21,42	0,1	25,455	373,1095	549,0415	0,03	0,5490
0,3	19,18	0,1	20,3	296,6006	334,8551	0,02	0,3349
0,4	17,89	0,1	18,535	256,6546	276,6276	0,02	0,2766
0,5	16,32	0,1	17,105	212,0670	234,3608	0,02	0,2344
0,9	13,35	0,4	14,835	139,7094	175,8882	0,06	0,7036
1	12,7	0,1	13,025	125,9472	132,8283	0,01	0,1328
2	8,74	1	10,72	57,9442	91,9457	0,11	0,9195
4	6,08	2	7,41	27,2624	42,6033	0,15	0,8521
6	5,21	2	5,645	19,7801	23,5212	0,11	0,4704
8	4,82	2	5,015	16,8277	18,3039	0,10	0,3661
10	4,51	2	4,665	14,6569	15,7423	0,09	0,3148
15	4,06	5	4,285	11,7815	13,2192	0,21	0,6610
20	3,73	5	3,895	9,8789	10,8302	0,19	0,5415
25	3,55	5	3,64	8,9142	9,3965	0,18	0,4698
30	3,47	5	3,51	8,5019	8,7080	0,18	0,4354
40	3,36	10	3,415	7,9515	8,2267	0,34	0,8227
50	3,26	10	3,31	7,4677	7,7096	0,33	0,7710
60	3,15	10	3,205	6,9537	7,2107	0,32	0,7211
70	3,04	10	3,095	6,4587	6,7062	0,31	0,6706
80	2,99	10	3,015	6,2399	6,3493	0,30	0,6349
90	2,94	10	2,965	6,0251	6,1325	0,30	0,6133
95	2,92	5	2,93	5,9403	5,9827	0,15	0,2991
97	2,92	2	2,92	5,9403	5,9403	0,06	0,1188
98	2,90	1	2,91	5,8560	5,8981	0,03	0,0590
99	2,89	1	2,895	5,8142	5,8351	0,03	0,0584
99,5	2,87	0,5	2,88	5,7309	5,7725	0,01	0,0289
100	2,15	0,5	2,51	3,1448	4,4379	0,01	0,0222

Vazão média diária m ³ /s	3,71	Descarga sólida média diária em suspensão t/dia	13,2693
--------------------------------------	------	---	---------

descarga anual (t/ano)	4.843,29
área da bacia (km ²)	494,7
produção específica (t/(km ² .ano))	9,79

Curva de permanência para o ano de 2006 (vazões a cada 30min)

0,6411Q2,0776

Porcentagem do tempo %	Vazão igualada ou excedida m ³ /s	Intervalo entre porcentagens sucessivas	Vazão média do intervalo m ³ /s	Descarga sólida total t/dia	Descarga sólida média t/dia	Vazão média x intervalo m ³ /s	Descarga sólida média x intervalo t/dia
0	52,75			2426,6948			
0,05	36,6	0,05	44,675	1135,5704	1781,1326	0,02	0,8906
0,1	25,6	0,05	31,1	540,3624	837,9664	0,02	0,4190
0,2	21,77	0,1	23,685	385,8873	463,1248	0,02	0,4631
0,3	19,1	0,1	20,435	294,0361	339,9617	0,02	0,3400
0,4	17,37	0,1	18,235	241,3981	267,7171	0,02	0,2677
0,5	16,34	0,1	16,855	212,6073	227,0027	0,02	0,2270
0,9	14,18	0,4	15,26	158,3610	185,4842	0,06	0,7419
1	13,36	0,1	13,77	139,9269	149,1440	0,01	0,1491
2	9,08	1	11,22	62,7256	101,3263	0,11	1,0133
4	6,7	2	7,89	33,3564	48,0410	0,16	0,9608
6	5,65	2	6,175	23,4089	28,3827	0,12	0,5677
8	5,15	2	5,4	19,3097	21,3593	0,11	0,4272
10	4,83	2	4,99	16,9003	18,1050	0,10	0,3621
15	4,32	5	4,575	13,4031	15,1517	0,23	0,7576
20	4,1	5	4,21	12,0239	12,7135	0,21	0,6357
25	3,98	5	4,04	11,3043	11,6641	0,20	0,5832
30	3,89	5	3,935	10,7797	11,0420	0,20	0,5521
40	3,73	10	3,81	9,8789	10,3293	0,38	1,0329
50	3,59	10	3,66	9,1241	9,5015	0,37	0,9501
60	3,45	10	3,52	8,4004	8,7622	0,35	0,8762
70	3,37	10	3,41	8,0007	8,2006	0,34	0,8201
80	3,29	10	3,33	7,6112	7,8060	0,33	0,7806
90	3,26	10	3,275	7,4677	7,5394	0,33	0,7539
95	3,23	5	3,245	7,3256	7,3967	0,16	0,3698
97	3,21	2	3,22	7,2317	7,2787	0,06	0,1456
98	3,18	1	3,195	7,0920	7,1618	0,03	0,0716
99	3,18	1	3,18	7,0920	7,0920	0,03	0,0709
99,5	3,18	0,5	3,18	7,0920	7,0920	0,02	0,0355
100	3,1	0,5	3,14	6,7263	6,9092	0,02	0,0345

Vazão média diária m ³ /s	4,05	Descarga sólida média diária em suspensão t/dia	15,2999
--------------------------------------	------	---	---------

descarga anual	5.584,45
área da bacia (km ²)	494,7
produção específica (t/(km ² .ano))	11,29

Curva de permanência para o ano de 2005 (vazões médias diárias, as 7 e 17 horas)

0,6411Q2,0776

Porcentagem do tempo %	Vazão igualada ou excedida m ³ /s	Intervalo entre porcentagens sucessivas	Vazão média do intervalo m ³ /s	Descarga sólida total t/dia	Descarga sólida média t/dia	Vazão média x intervalo m ³ /s	Descarga sólida média x intervalo t/dia
0	19,66			312,2302			
0,05	19,66	0,05	19,66	312,2302	312,2302	0,01	0,1561
0,1	19,66	0,05	19,66	312,2302	312,2302	0,01	0,1561
0,2	19,66	0,1	19,66	312,2302	312,2302	0,02	0,3122
0,3	16,49	0,1	18,075	216,6823	264,4562	0,02	0,2645
0,4	16,49	0,1	16,49	216,6823	216,6823	0,02	0,2167
0,5	15,91	0,1	16,2	201,1480	208,9151	0,02	0,2089
0,9	11,25	0,4	13,58	97,9040	149,5260	0,05	0,5981
1	10,09	0,1	10,67	78,0926	87,9983	0,01	0,0880
2	7,63	1	8,86	43,6977	60,8952	0,09	0,6090
4	5,88	2	6,755	25,4322	34,5650	0,14	0,6913
6	5,33	2	5,605	20,7384	23,0853	0,11	0,4617
8	4,75	2	5,04	16,3239	18,5311	0,10	0,3706
10	4,51	2	4,63	14,6569	15,4904	0,09	0,3098
15	4,06	5	4,285	11,7815	13,2192	0,21	0,6610
20	3,73	5	3,895	9,8789	10,8302	0,19	0,5415
25	3,55	5	3,64	8,9142	9,3965	0,18	0,4698
30	3,47	5	3,51	8,5019	8,7080	0,18	0,4354
40	3,36	10	3,415	7,9515	8,2267	0,34	0,8227
50	3,26	10	3,31	7,4677	7,7096	0,33	0,7710
60	3,15	10	3,205	6,9537	7,2107	0,32	0,7211
70	3,05	10	3,1	6,5029	6,7283	0,31	0,6728
80	2,99	10	3,02	6,2399	6,3714	0,30	0,6371
90	2,95	10	2,97	6,0678	6,1538	0,30	0,6154
95	2,92	5	2,935	5,9403	6,0040	0,15	0,3002
97	2,92	2	2,92	5,9403	5,9403	0,06	0,1188
98	2,90	1	2,91	5,8560	5,8981	0,03	0,0590
99	2,87	1	2,885	5,7309	5,7935	0,03	0,0579
99,5	2,87	0,5	2,87	5,7309	5,7309	0,01	0,0287
100	2,82	0,5	2,845	5,5254	5,6281	0,01	0,0281

Vazão média diária m ³ /s	Descarga sólida média diária em suspensão t/dia
3,64	11,3835

descarga anual	4.154,97
área da bacia (km ²)	494,7
produção específica (t/(km ² .ano))	8,40

Curva de permanência para o ano de 2006 (vazões médias diárias, as 7 e 17 horas)

0,6411Q2,0776

Porcentagem do tempo %	Vazão igualada ou excedida m ³ /s	Intervalo entre porcentagens sucessivas	Vazão média do intervalo m ³ /s	Descarga sólida total t/dia	Descarga sólida média t/dia	Vazão média x intervalo m ³ /s	Descarga sólida média x intervalo t/dia
0	47,51			1952,6048			
0,05	47,51	0,05	47,51	1952,6048	1952,6048	0,02	0,9763
0,1	47,51	0,05	47,51	1952,6048	1952,6048	0,02	0,9763
0,2	47,51	0,1	47,51	1952,6048	1952,6048	0,05	1,9526
0,3	47,51	0,1	47,51	1952,6048	1952,6048	0,05	1,9526
0,6	18,83	0,3	33,17	285,4663	1119,0355	0,10	3,3571
0,9	16,52	0,3	17,675	217,5021	251,4842	0,05	0,7545
1,2	15,28	0,3	15,9	184,9526	201,2274	0,05	0,6037
1,5	14,72	0,3	15	171,1477	178,0501	0,05	0,5342
2	9,7	0,5	12,21	71,9520	121,5498	0,06	0,6077
4	6,65	2	8,175	32,8413	52,3966	0,16	1,0479
6	5,77	2	6,21	24,4537	28,6475	0,12	0,5729
8	5,25	2	5,51	20,0969	22,2753	0,11	0,4455
10	5,01	2	5,13	18,2351	19,1660	0,10	0,3833
15	4,45	5	4,73	14,2547	16,2449	0,24	0,8122
20	4,16	5	4,305	12,3924	13,3235	0,22	0,6662
25	4,07	5	4,115	11,8418	12,1171	0,21	0,6059
30	3,94	5	4,005	11,0695	11,4557	0,20	0,5728
40	3,8	10	3,87	10,2680	10,6687	0,39	1,0669
50	3,68	10	3,74	9,6057	9,9369	0,37	0,9937
60	3,54	10	3,61	8,8621	9,2339	0,36	0,9234
70	3,42	10	3,48	8,2493	8,5557	0,35	0,8556
80	3,34	10	3,38	7,8535	8,0514	0,34	0,8051
90	3,29	10	3,315	7,6112	7,7323	0,33	0,7732
95	3,23	5	3,26	7,3256	7,4684	0,16	0,3734
97	3,21	2	3,22	7,2317	7,2787	0,06	0,1456
98	3,21	1	3,21	7,2317	7,2317	0,03	0,0723
99	3,18	1	3,195	7,0920	7,1618	0,03	0,0716
99,5	3,18	0,5	3,18	7,0920	7,0920	0,02	0,0355
100	3,15	0,5	3,165	6,9537	7,0228	0,02	0,0351

Vazão média diária m ³ /s	Descarga sólida média diária em suspensão t/dia
4,27	22,9731

descarga anual	8.385,19
área da bacia (km ²)	494,7
produção específica (t/(km ² .ano))	16,95